

# 피에조일렉트릭 프린터 헤드 구동을 위한 집적화된 고전압 펄스 발생 회로의 설계

(Design of an Integrated High Voltage Pulse Generation circuit  
for Driving Piezoelectric Printer Heads)

이경록\* · 김종선\*\*

(Kyoung-Rok Lee · Jong-Sun Kim)

## Abstract

This paper presents an integrated variable amplitude high voltage pulse generation circuit with low power and small size for driving industrial piezoelectric printer heads. To solve the problems of large size and power overhead of conventional pulse generators that usually assembled with multiple high-cost discrete ICs on a PCB board, we have designed a new integrated circuit (IC) chip. Since all the functions are integrated on to a single-chip it can achieve low cost and control the high-voltage output pulse with variable amplitudes as well. It can also digitally control the rising and falling times of an output high voltage pulse by using programmable RC time control of the output buffer. The proposed circuit has been designed and simulated in a 180[nm] Bipolar-CMOS-DMOS (BCD) technology using HSPICE and Cadence Virtuoso Tools. The proposed single-chip pulse generation circuit is suitable for use in industrial printer heads requiring a variable high voltage driving capability.

Key Words : Printer, Head, Piezoelectric, Pulse Generation Circuit, CMOS, BCD

## 1. 서 론

일반적인 산업용 프린터 제품의 프린터 헤드에는 잉크를 분사하는 다수의 분사 노즐(nozzle)들이 부착되어 있으며, 분사 방식에 따라 피에조일렉트릭

(piezoelectric)[1-2], 일렉트로스테틱(electrostatic)[3], 그리고 열적 버블(thermal bubble)[4] 방식 등이 있다. 이 중에서 피에조일렉트릭 방식의 프린트 기술은 사무실용 프린터로부터 산업용 프린터 그리고 제조 공정의 도구로까지 응용 범위가 점차 넓어지고 있다.

이러한 산업용 프린터의 헤드 캐리지 시스템은 잉크를 공급받아 인쇄를 수행하는 프린터 본체를 지칭하는 것으로, 그림 1 (a)와 같이 잉크를 공급하는 잉크 공급장치(ink supply), 헤드 캐리지 박스(head carriage box), 캐리지 레일(carriage rail), 헤드 구동 전압 펄스 발생 장치(pulse generator) 및 캐리지 보드(carriage

\* 주저자 : 홍익대학교 대학원 전자정보통신공학과

\*\* 교신저자 : 홍익대학교 전자전기공학부 조교수

Tel : 02-320-3014, Fax : 02-320-1119

E-mail : js.kim@hongik.ac.kr

접수일자 : 2010년 11월 12일

1차심사 : 2010년 11월 17일, 2차심사 : 2011년 1월 5일

심사완료 : 2011년 1월 7일

board) 등으로 구성된다. 특히 헤드 구동 펄스 발생 장치는 PCB 보드에 개별 IC 소자들을 연결하여 구성되어 하나의 칩에 집적하기 어렵고 사이즈와 전력소모 및 비용이 큰 단점을 가져왔다. 특히 최종 출력단은 전류 증폭을 위한 버퍼로써 보통 고전력 개별 BJT 소자로 구성되어진다[5].

그림 1 (b)에 나타낸 바와 같이 프린터 헤드 내부의 피에조 소자는 인가되는 구동 고전압 펄스 신호에 따라 노즐의 피에조 변형이 일어나고 그에 따른 압력으로 인해 잉크가 토출된다. 피에조 프린터 헤드의 구동 고전압 펄스는 직접 피에조에 인가되는 신호로써 그 전압 크기와 전압이 작용하는 시간이 토출되는 잉크 도트 사이즈와 토출 속도에 큰 영향을 준다[6]. 따라서 프린터 헤드의 구동 전압 펄스 설계 기술은 프린터 패턴의 품질과 가격에 직접적인 관련을 가지며, 외부로부터 기술 라이선스가 어려운 것이 일반적이다. 따라서 제품 생산에 있어 패턴 품질과 신뢰성, 저비용 및 양산성을 위해서는 독자적인 설계기술을 개발해야 한다.

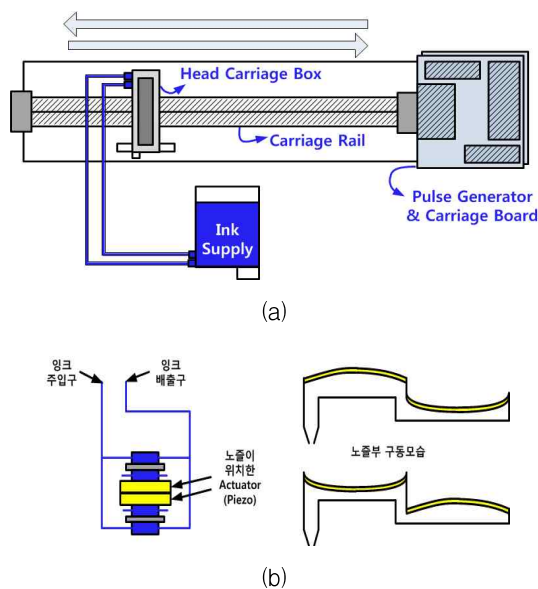


그림 1. (a) 산업용 프린터 헤드 캐리지 시스템 블록도  
 (b) 피에조 프린터 헤드 내부 구조  
 Fig. 1. (a) Block diagram of an Industrial printer head carriage system  
 (b) Inner structure of piezo printer head

본 논문에서 제안하는 헤드 구동 펄스 발생 회로는 집적화가 어려웠던 종래의 개별 부품 IC 조립방식을 개선하기 위하여 동부하이텍 180[nm] BCD 반도체 공정을 기반으로 HSPICE 시뮬레이션과 Cadence Tool을 사용하여 설계하였다. 설계된 IC 칩은 전반적으로 CMOS 소자를 사용하였으며, 고전압 블록의 경우 DMOS 소자를 이용하였고, 출력 버퍼의 경우 전류용량과 고전력을 고려하여 Bipolar 소자를 이용하여 싱글칩 집적화 및 초소형, 저전력 및 저비용 달성을 가능하게 하였다. 또한 제안하는 회로는 새로운 헤드 분사 제어 방식을 적용하여 용이하게 잉크 도트 사이즈를 조절할 수 있고 잉크에 따라 피에조 구동 펄스의 전압 크기와 상승 및 하강시간을 제어할 수 있도록 하였다. 출력단의 전압 레벨은 20[V], 40[V], 60[V], 80[V]로 가변적이며, 고전압 출력이 필요한 산업용 프린터 구동에 적합하다.

## 2. 가변 고전압 펄스 발생 회로 설계

헤드의 구동 펄스는 헤드 내 잉크의 유동을 유발하는 압력파를 생성하는 중요 요인으로서, 압력파가 잉크 토출에 밀접한 관계가 있다는 것을 밝혀낸 이후에 이를 이용하여 파형을 설계하려는 노력이 진행되어 왔다[7-9]. 그림 2 (a)는 일반적으로 사용되는 기본 펄스로, 상승시간(rise time), 하강시간(fall time), 휴지시간(dwell time)으로 구성된다. 일반적인 펄스 설계는 상승 및 하강시간을 고정하고 휴지시간을 변경하면서 이때의 토출 속도 측정을 통해 속도가 최대인 휴지시간을 최적의 휴지시간으로 결정하게 된다. 상승구간은 팽창에 관련되고, 하강구간은 압축에 관련된다. 이러한 압력파와 펄스의 관계를 통하여 최적의 펄스를 설계한다. 구동 펄스 설계를 위하여 팽창에 의해 생긴 두 압력파가 다시 피에조 중심에서 모일 때 압축을 하기 위해 휴지시간을 조절하여 토출압이 최대가 되도록 하는 것이 기존의 구동 펄스 설계 방법이다. 잉크가 다양해지면서 효율적인 잉크 토출이 가능한 펄스 설계가 필요하다. 기존 방식은 토출되는 잉크의 속도를 측정하는 실험에 의해 구동 펄스를 설계하였다. 그러나 잉크젯 응용 범위가 점차 넓어지면서 토출 조건

을 찾는 것이 어려워졌다. 따라서 본 논문은 여러 잉크에 적용 가능하도록 구동 펄스의 전압 크기와 상승 및 하강시간을 프로그래머블하게 조정할 수 있는 가변 고전압 펄스를 발생시키는 회로를 제안하고 설계하였다.

그림 2 (b)는 종래의 헤드 구동용 펄스 발생장치의 개념도를 보여주고 있다[10-12]. 프린트 컨트롤러에서 구동 전압 펄스에 관한 데이터(data)를 보드 혹은 모듈상의 D/A 컨버터 칩에 전달하여 전압으로 변환하고 출력 전압을 전압증폭기(voltage amp.)를 사용하여 피에조를 구동하기에 충분히 큰 고전압으로 증폭시킨 후 출력버퍼(output buffer)인 전류 증폭기를 거쳐 최종적으로 고전압 구동 펄스를 발생시켜 피에조를 구동하는 방식이다. 이 경우 펄스 발생 장치가 개별 IC 소자들로 조립되어 큰 면적과 파워소모를 가지며 고비용의 문제점들을 가져왔다.

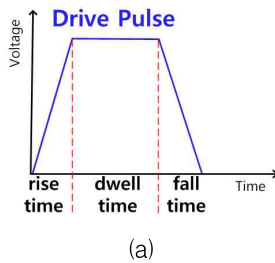


그림 2. (a) 피에조 헤드의 전형적인 구동 펄스  
(b) 종래 구동 펄스 발생 장치의 개념 블록도  
Fig. 2. (a) Typical drive pulse for piezo head  
(b) Block diagram of conventional pulse generator

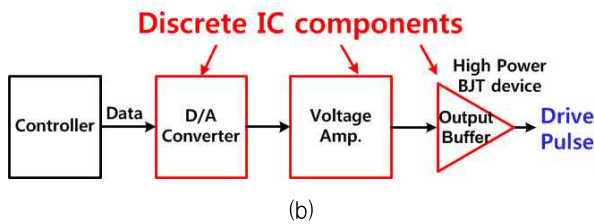


그림 3 (a)는 현재 상용되는 일반적인 산업용 피에조 프린터 헤드의 분사제어 방식을 보여준다. 헤드 하나당 N개의 노즐을 구비하고 각 노즐에 연결된 피에조 구동 스위치의 온/오프를 결정하는 프린트 데이터

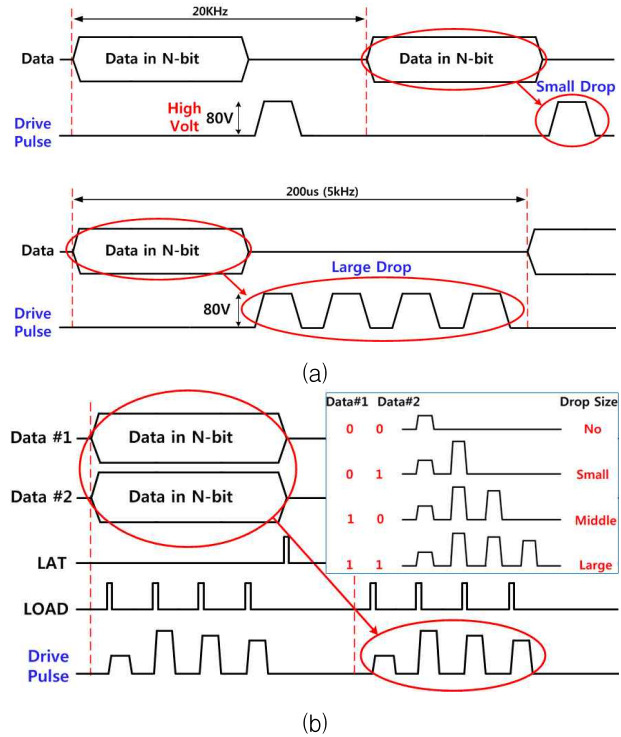


그림 3. (a) 일반적인 헤드 분사제어 방식  
(b) 제안하는 헤드 분사제어 방식  
Fig. 3. (a) Conventional head control method  
(b) Proposed head control method

(data)에 따라 피에조가 구동하여 잉크 분사를 제어한다. 이 방식은 작은 사이즈의 잉크 분사를 위해 고전압 펄스가 피에조에 한 번 인가되고, 큰 사이즈의 잉크 분사를 위해서는 고전압 펄스를 여러 번(예를 들어 4번) 피에조에 인가하여 잉크 크기를 증가시킨다. 이러한 방식의 문제점은 잉크 도트 사이즈를 다르게 설정하는 것이 어려우며 항상 고정된 전압펄스가 인가된다는 것이다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 그림 3 (b)와 같은 새로운 프로그래머블한 헤드 분사제어 방식을 제안한다. lat 신호는 데이터 입력이 끝나는 시점에 발생하는 한 타임 프레임을 구분하는 신호이고, load 신호는 4개의 펄스가 발생하는 시점을 나타내는 신호이다. 종래에 1비트 data 신호를 사용한 것과 달리 잉크 사이즈 선택을 위해 2비트 프린트 데이터(data #1, data #2)를 입력받아 피에조 구동에 사용한다. 펄스 모양은 상용 프린터 헤드 구동장치

의 파형을 참고하였다[11]. 그림에서 [data #1 data #2]의 값 [00], [01], [10], [11]에 따라 구동 펄스를 1개에서 4개까지 발생시키며, 동시에 잉크 사이즈를 작은 크기, 중간 크기, 큰 크기로 선택할 수 있도록 하였다. 1개의 펄스 발생 유형은 잉크 분사가 없을 때 잉크 챔버를 흔들어 다음 분사를 돕기 위함이다. 이 방식은 세밀한 잉크 사이즈 조절을 통해 프린트 품질을 향상시킬 수 있고, 메모리 버퍼를 추가해 데이터 입력과 피에조 소자 동작의 동시 진행이 가능할 수 있게 되어 동작 속도 저하를 방지할 수 있다. 또한 전압의 크기는 토출되는 잉크 사이즈와 속도를 직접적으로 결정하므로 고정 고전압 펄스보다 가변 고전압 펄스가 다양한 잉크에 맞춰 변경하는데 적합하다.

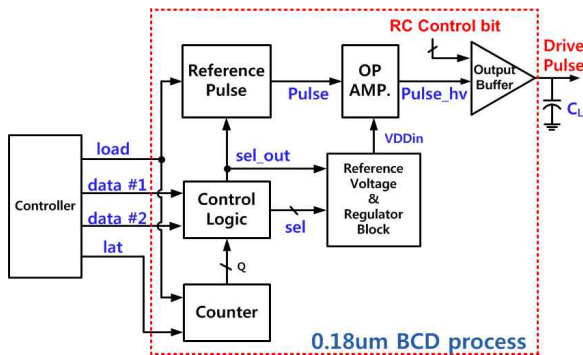


그림 4. 제안하는 가변 고전압 펄스 발생 회로 블록도  
Fig. 4. Block diagram of the proposed variable amplitude high voltage pulse generation circuit

그림 4은 새로운 헤드 분사제어 방식을 위해 본 논문에서 제안하는 가변 고전압 펄스 발생 회로의 블록도이다. 그 구성은 프린트 데이터 입력(data #1, data #2)에 따른 펄스 개수 선택에 필요한 신호(sel\_out)와 펄스 순서를 나타내는 신호(sel)를 만들기 위해 load 신호를 세는 카운터 블록, 프린트 데이터 입력에 따른 4가지의 잉크 도트 사이즈를 구분하기 위하여 펄스 개수 선택 신호(sel\_out)와 펄스 순서 신호(sel)을 만드는 게이트 로직 연산을 하는 컨트롤 로직 블록, load 신호에 맞춰 레퍼런스 펄스를 발생시키고 펄스 개수 선택 신호(sel\_out)에 따라 선택된 개수만큼의 펄스를 출력시키는 레퍼런스 펄스 블록, 레퍼런스 펄스 블록

으로부터 입력된 펄스를 고전압으로 증폭시켜주는 가변전원 전압 증폭기(OP amp.) 블록, 전압 증폭기의 전원 전압을 펄스의순서에 맞춰 가변시켜 주기 위한 레퍼런스 전압 및 레귤레이터 블록, 최종 출력 단으로 전류 증폭 및 펄스의 상승 및 하강 시간을 조절하기 위한 출력 버퍼(output buffer) 블록으로 이루어져 있다. 2비트 프린트 데이터에 따라 펄스의 개수를 결정하고, 전압 크기를 가변시키기 위해 전압 증폭기의 전원 전압 스위칭 방식을 사용하였다. 최종 출력 단은 이미터 폴로어 구조로 RC 시정수 조절을 통해 펄스의 상승 및 하강 시간을 제어한다.

### 3. 주요 블록 설계

이 장에서는 주요 블록의 구성과 동작에 대해 자세히 설명한다. 레퍼런스 펄스 블록은 레퍼런스 펄스발생부와 펄스선택부로 이뤄진다. 그림 5는 레퍼런스 펄스발생부를 나타낸다. load 신호에 맞춰 레퍼런스 사각 펄스를 만들고, 펄스 폭 조절은 RC 지연시간 조절을 이용하여 모스 커패시터의 온/오프를 디지털로 프로그래머블하게 제어하여 조정한다. 이후 펄스선택부는 간단한 mux 구조로 sel\_out신호를 기초로 레퍼런스 펄스 개수를 1개에서 4개까지 선택해 잉크 사이즈 제어를 위한 4가지 타입의 CMOS 레벨 출력 pulse 신호를 발생시킨다. sel\_out 신호는 2비트 data에 따라 컨트롤 로직 블록에서 간단한 게이트 연산을 통해 얻는다. 이후 가변적인 VDDin 전원레벨을 가지는 전압 증폭기를 통해 펄스 크기를 임의의 고전압으로 변환하고, 최종 출력 버퍼 단에서 전류 구동능력과 함께 상승 및 하강시간을 제어할 수 있도록 설계하였다. 출력 펄스(pulse)의 고전압 크기 변경은 각 펄스 구간마다 전압 증폭기의 전원 전압을 변화시켜주는 방식을 사용하였다. 전압 증폭기는 2단 DMOS 차동증폭기 구조이며 개수 선택이 된 CMOS 레벨의 pulse 신호를 증폭시켜 0~80[V]의 고전압인 pulse\_hv 신호를 출력시킨다.

그림 6에 나타난 개념도처럼 전압 증폭기 블록의 전원 전압으로 쓰이는 VDDin은 일반적인 저항기반의 디바이더를 이용한 레퍼런스 전압 블록을 통해 0~

80[V]의 가변전압( $V_{ref}$ )을 만들고, 이어서 전압 안정화를 위해 DMOS 온-칩 레귤레이터 블록을 거쳐 전압 증폭기에 인가된다.  $VDD_{in}$  출력 전압 레벨의 변화는 컨트롤로직 블록의 sel신호와 sel\_out신호에 의해 타이밍이 제어된다.

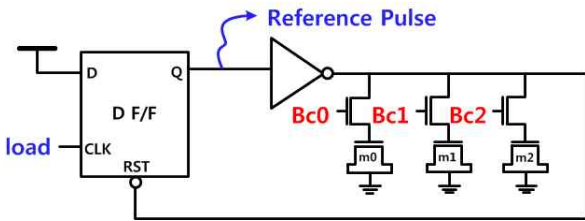


그림 5. 레퍼런스 펄스 블록의 레퍼런스 펄스발생부  
Fig. 5. Reference pulse generation part

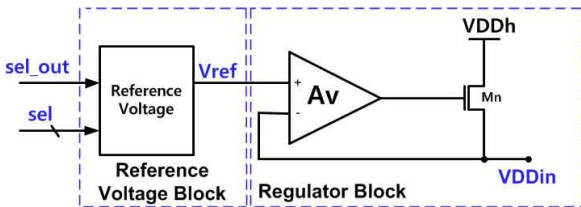


그림 6. 레퍼런스 전압 및 레귤레이터 개념도  
Fig. 6. Reference voltage and regulator block

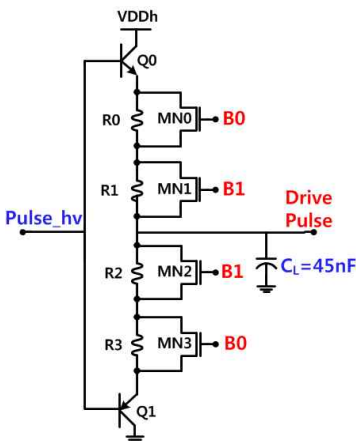


그림 7. 프로그래머블한 슬루레이트 기능을 가지는 온-칩 출력 버퍼  
Fig. 7. On-chip output buffer with programmable slew rate

최종 출력 버퍼(output buffer)는 전류 증폭을 위한 최종 드라이버로서 이를 통해 각 헤드의 노즐에 구동

펄스가 인가되며, 헤드에 해당하는 CL의 부하 커패시터를 구동한다. 종래의 최종 출력 버퍼의 구조는 보통 고전력 BJT 이미터 폴로어 구조이며, 개별 오프-칩 트랜지스터 소자들을 이용하였지만 본 연구에서는 BCD 공정의 온-칩 출력 버퍼를 사용하였고 이를 그림 7에 나타내었다. 출력 버퍼는 큰 커패시티브 로드를 구동해야 하며, 그 크기는 헤드에 달린 노즐의 개수에 의해 결정된다. 본 논문에서의 구동 조건은 노즐 90개를 갖는 헤드이다. 따라서 노즐 하나당 약 500[pF]의 로드를 갖기 때문에 총 45[nF]의 커패시티브 로드를 구동하게 된다. 프린터 헤드를 구동하는 최종 출력 신호(drive pulse)는 가변 고전압 입력신호(pulse\_hv)와 같은 0~80[V]의 출력 전압레벨을 갖는다. 또한 펄스의 상승 및 하강시간 제어를 위해 프로그래머블하게 RC 시정수 조절이 가능하도록 설계하였다. 2비트의 RC control bit 신호 B0, B1에 의해 총 4가지 타입으로 RC 시정수를 변경할 수 있다. RC control bit 신호 B0, B1이 "00" 인 경우 MN0, MN1, MN2, MN3은 모두 턴 오프 된다. 따라서 대부분의 전류는 저항 R0, R1, R2, R3을 통해 흐르며 이 때 RC 시정수는 가장 크고, 펄스의 상승 및 하강시간이 증가된다. B0, B1 신호가 "00", "01", "10", "11"로 변함에 따라 RC 시정수는 감소하여 상승 및 하강시간이 서서히 줄어든다. 입력 신호의 비트 수를 증가시킴으로써 더욱 세밀하고 다양하게 출력 고전압 펄스의 슬루레이트(slew rate) 조절이 가능하다.

#### 4. 시뮬레이션 결과 및 검증

본 논문에서 설계한 가변 고전압 펄스 발생 회로는 HSPICE을 이용하여 시뮬레이션 검증을 하였다. 그림 8은 최종 출력 버퍼에서 고전압 펄스의 프로그래머블한 상승 및 하강시간 제어를 보여준다. RC control 신호 [B1B0]를 변화시킴에 따라 출력 고전압 펄스의 슬루레이트를 조정한다. 그림 8에 보인 바와 같이 control신호 [B1B0]가 [00]인 경우, 상승 및 하강시간이 각각 1.55[us]와 1.67[us]으로 가장 길며, 순차적으로 control신호 [B1B0]가 [01], [10], [11]로 변함에 따라 상승 및 하강시간을 점점 짧게 제어할 수 있다. 일



반적으로 산업용 피에조 프린터의 경우 구동 펄스의 상승 및 하강 시간은 2[us] 이내이며, 그 이상인 경우 잉크 토출이 일어나지 않는다. 따라서 본 논문에서는 고전압 펄스의 상승 및 하강시간을 0.74[us]에서 1.67[us] 사이에서 제어 가능하도록 설계하였다.

그림 9는 설계한 가변 고전압 펄스 발생 회로가 데이터 값에 따라 서로 다른 개수의 고전압 펄스를 발생시키는 것을 시뮬레이션 검증한 결과이다. 실험결과에서 보듯이 제안된 새로운 헤드 구동 방식이 적용되어 1개에서 4개의 가변 고전압 펄스(drive pulse)가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

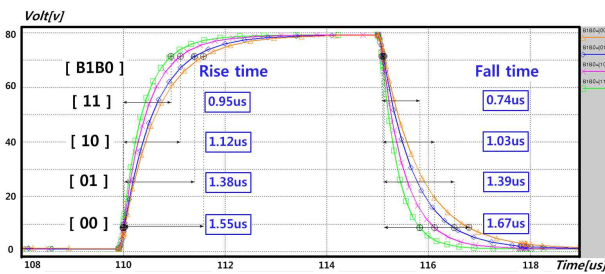


그림 8. 프로그래머블한 슬루레이트를 가지는 출력버퍼단의 시뮬레이션 결과  
Fig. 8. Output buffer simulation result with programmable slew rate control

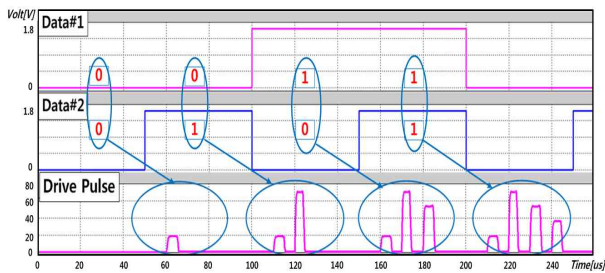


그림 9. 제안된 가변 고전압 펄스 발생 회로의 시뮬레이션 결과  
Fig. 9. Simulation result of the proposed variable amplitude high voltage pulse generation circuit

그림 10은 제안된 가변 고전압 펄스 발생 회로의 칩 레이아웃으로 Cadence Virtuoso 툴을 이용하여 설계하였다. 동부하이텍 180[nm] BCD 공정으로 설계되어 단일 칩으로 집적화를 가능하게 하였다. 출력 버퍼를

제외한 칩 면적은 0.54[mm<sup>2</sup>]으로 매우 작은 편이다. 또한 큰 커패시티브 로드를 구동하기 위한 출력 버퍼를 포함시킨 전체 칩 면적은 약 4[mm<sup>2</sup>]으로 종래의 개별 IC 조립 방식에 비해서 100배 이상 작은 면적을 갖는다.

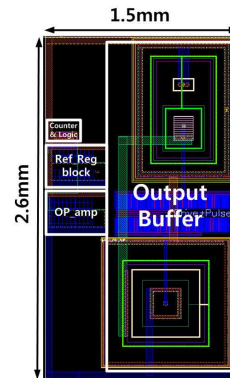


그림 10. 제안된 가변 고전압 펄스 발생 회로의 레이아웃  
Fig. 10. Layout of the proposed variable amplitude high voltage pulse generation circuit

표 1은 본 논문에서 설계한 가변 고전압 펄스 발생 회로의 성능 요약표이다. 설계된 가변 고전압 펄스 발생 회로는 상용되고 있는 헤드와 동일한 20[KHz]의 주파수로 헤드에 고전압 펄스를 공급하며, 제안된 새로운 헤드 분사 제어 방식에 따라 1개에서 4개의 고전압 펄스를 발생시킨다. 또한 출력 버퍼에서 RC 시정수 컨트롤을 통해 구동펄스의 상승 및 하강 시간이 제어된다.

표 1. 성능 요약표  
Table 1. Performance Summary

Performance Table		
Technology Process		180[nm] BCD
Max. Supply Voltage		80[v]
Operating Frequency		20[kHz]
Drive Pulse	Pulse Amplitude Range	0~80[v]
	Rise Time Range	0.95~1.55[us]
	Fall Time Range	0.74~1.67[us]
Load Capacitor		45[nF]
Chip Area (w.o. Output Buffer)		0.54[mm <sup>2</sup> ](4[mm <sup>2</sup> ])

## 5. 결 론

본 논문에서는 산업용 피에조 프린터 헤드의 구동을 위한 가변 고전압 펄스 발생 회로를 설계하였고 새로운 헤드 분사제어 방식을 제안하였다. 본 논문은 새로운 헤드 분사제어 방식을 적용하여 피에조 구동 고전압 펄스의 크기와 상승 및 하강시간을 프로그래머블하게 제어할 수 있는 고전압 펄스 발생 회로를 HSPICE를 이용하여 동부하이텍 0.18[um] BCD공정을 기반으로 설계하였고 Cadence Virtuoso 툴을 이용하여 칩 레이아웃을 완료하였다. 종래 개별 반도체 소자들을 PCB 보드 상에서 조합하여 사용하던 펄스발생장치의 크기 및 전력 소모 오버헤드 문제를 해결하기 위하여, 180[nm] BCD 공정으로 설계된 본 논문의 회로는 싱글칩 집적화로 프린터의 가격을 절감하고 소형화를 가능케 한다. 또한 종래의 잉크 도트 사이즈를 결정하기 위해 피에조 구동 횟수를 제어하던 방식과 달리 출력단의 전압 레벨을 가변적으로 제어할 수 있는 새로운 헤드 분사제어 방식을 통해 빠르고, 용이하게 잉크 도트 사이즈의 조절이 가능해졌다.

이 논문은 지식경제부 기술혁신사업 우수제조기술연구센터(ATC)사업의 지원을 받아 수행된 연구임.  
(과제번호 10032734).

## References

[1] 김영재, 유영석, 심원철, 박창성, 정재우, 오용수, "산업용 압전 잉크젯 헤드의 구동신호에 따른 특성", 전기학회논문지 55C편, 제8호, pp.417-422, 2006.  
[2] Shin-Yong Yoon, Geun-Soo Choi, Soo-Hyun Baek, Kim Yong, "Ink droplet control of piezoelectric head for micro pattern printing system of FPCB", Electrical Machines and Systems, 2007. ICEMS. International Conference on, pp. 1708-1710, 2007.  
[3] S. Kamisuki, M. Fujii, T. Takekoshi, C. Tezuka, M. Atobe, "A high resolution, electrostatically-driven commercial inkjet head", IEEE 13th Annual International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems, pp. 793-798, Jan. 2000.

[4] F. Tseng, C. Kim, C. Ho, "A novel microinjector with virtual chamber neck", IEEE 11th Annual International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems, pp. 57-62, Jan. 1998.  
[5] 정성천 외, "잉크젯프린터의 압전기 구동 회로", 공개특허 10-2000-0082976, 삼성전자주식회사, 2003.  
[6] Youngjae Kim, Wonchul Sim, Changsung Park, Youngseuck Yoo, Jaewoo Joung, Yongsoo Oh, "The Effects of Driving Waveform of Piezoelectric Industrial Inkjet Head for Fine Patterns", Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, 1st IEEE International Conference on, pp. 826-831, 2006.  
[7] Microfab Technologies, Inc., "Drive waveform effects on inkjet device performance", Microfab technote 99-03, 1999.  
[8] Bogy, D. B. and Talk, F. E., "Experimental and theoretical study of wave propagation phenomena in drop-on-demand inkjet devices", IBM Journal of Research and Development, vol. 28, no. 3. pp.314-321. 1984.  
[9] 권계시, "잉크젯 토출 특성 제어를 위한 입력 파형 설계", 한국세라믹학회, 세라미스트, 제22권, 제3호, pp.45-48, 2009.  
[10] Yuichi Nishihara and Nagano-ken, "Method of Detecting Liquid Amount, Printer, and Printing System," U.S. Patent, Pub. No. US2006/0187249A1.  
[11] 장광균 외, "잉크젯 헤드 구동 회로", 공개특허 10-2000-0049725, 삼성전자주식회사, 2002.  
[12] 이광호, 정재우, "잉크젯 프린터용 기록 헤드 구동 방법 및 구동 장치", 공개특허 10-2006-0008546, 삼성전자주식회사, 2006.

## ◇ 저자소개 ◇



**이경록**(李峴錄)

1983년 11월 11일생. 2009년 홍익대학교 전자전기공학부 졸업. 2009년~현재 홍익대학교 대학원 전자정보통신공학과 석사과정.



**김중신**(金鍾善)

1968년 7월 3일생. 1992년 한양대학교 전자공학과 졸업. 1994년 포항공과대학교 전자전기공학과 졸업(석사). 2006년 University of California, Los Angeles (UCLA) 전기공학과 졸업(박사). 1994~2008년 삼성전자 메모리사업부 DRAM 설계팀. 2008년~현재 홍익대 전자전기공학부 조교수.