

논문 2009-4-21

# 전자기 유도 방식을 이용한 유선 태블릿의 좌표 측정 알고리즘 연구

## A Study on the Coordinate Estimate Algorithm of the Electromagnetic Induction Based Wired Tablet Device

홍동구\*, 유영기\*\*, 오춘석\*\*

Dong-Goo Hong, Young-Kee Ryu, Chun-Suk Oh

요 약 본 논문은 전자기 유도 방식을 이용한 유선 태블릿의 좌표 측정 방법에 대해 소개하고자 한다. 많은 태블릿이 전자기 유도 방식을 이용하여 좌표를 측정한다. 태블릿에서 펜의 위치를 추적하는 것은 태블릿의 성능과도 직결되는 문제이므로 매우 중요한 요소이다. 본 논문에서는 본 연구에서 개발한 유선 태블릿 장치에서 획득한 전자기 유도 신호로부터 전자펜의 위치를 실시간으로 측정하는 좌표 측정 알고리즘에 대해 소개하고자 한다.

**Abstract** In this paper, we deal with the coordinate estimate algorithm of the wired tablet device. In order to get the position of the electric pen on the tablet, electromagnetic induction effect is used. Most electric tablets have used the electromagnetic induction effect. Tracking the position of the pen on a tablet that is directly related with the performance of the device is very important. In this research, a new real time coordinate estimate algorithm is introduced. To estimate the position of the pen, the electromagnetic induced signals of the wired tablet are used.

**Key Words :** Wired tablet, Algorithm, Electromagnetic induction

### I. 서 론

2007년 윈도우즈 비스타의 개발과 많은 상용 프로그램에 있어서 폭넓은 GUI(Graphic User Interface)를 지원하기 위해 급부상하고 있는 컴퓨터 주변기기는 바로 태블릿(Tablet)이다. 태블릿은 일반적으로 특정시스템에서 전문적인 사용목적에 가진 사용자들에 의해서만 사용되어 왔다. 하지만 많은 어플리케이션의 개발과 PC환경의 개선, PC의 보급화로 태블릿은 현재 그래픽, 문서, 프레젠테이션 등에서 사용될 뿐만 아니라 현재는 태블릿PC와 디스플레이부분에 터치스크린이 적용된 PC도 등장하

여 모니터에 직접 펜이나 손을 이용하여 입력이 가능하도록 제작되고 있다. 이처럼 컴퓨터에 관련된 기술이 발전하고 있는 가운데 Microsoft의 회장 빌게이츠는 태블릿은 미래 컴퓨팅의 주인공이라 언급하며 태블릿의 발전 가능성을 제시했다.<sup>[1]</sup> 하지만 현재 여러 가지 태블릿이 판매되고 있으나 회로가 복잡하고 다른 PC주변기기에 비해 가격이 고가이다. 본 논문에서는 태블릿의 저가형 이면서 간단한 구조를 갖는 태블릿을 구현하고 좌표 측정 알고리즘을 소개하고자한다.

### II. 태블릿 측정 원리

#### 1. Difference Coil을 이용한 좌표 측정원리

\*준회원, 선문대학교 정보통신공학과

\*\*정회원, 선문대학교 정보통신공학과

접수일자 2009.7.13, 수정완료 2009.8.3

태블릿의 동작방식은 전자기 유도 현상이 많이 사용된다. 전자기 유도 현상은 1831년 페러데이에 의해서 발견되었다.<sup>[2]</sup> 전자기 유도 현상에 대한 자세한 언급은 생략한다.

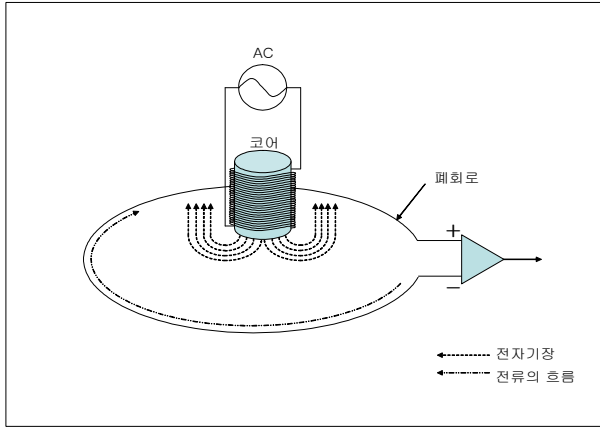


그림 1. 전자기유도현상에 의한 전류의 흐름  
Fig 1. Current flow by a electromagnetic induction

위 그림 1과 같이 코일을 폐회로 위에 올려놓게 되면 전자기 유도 현상에 의해서 폐회로에 전류가 흐르게 된다. 이처럼 코어를 펜, 펙, 스타일러스에 적용을 시켜 폐회로 위에 위치시킨다면 전자기유도현상에 의해 전류를 흐르게 하여 폐회로에 흐르는 전류의 세기, 즉 전압을 측정할 수 있다.

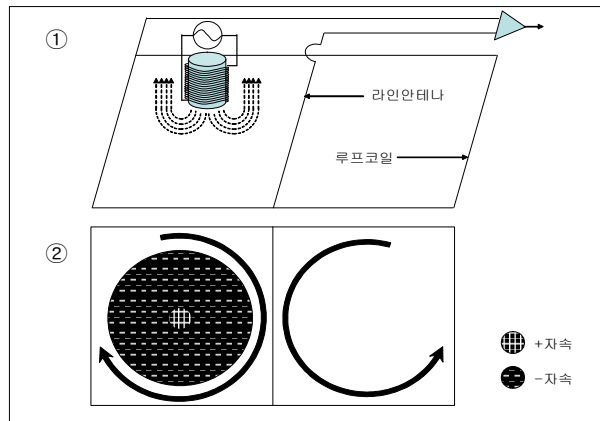


그림 2. Differential Coil 에서의 전류 방향  
Fig 2. Current direction by differential coil

위 그림 2의 ①과 같이 직사각형의 폐회로 위의 정중앙에 또 다른 선을 설치한다. 정중앙에 설치한 선을 라인

안테나라 부르고 루프코일과 라인안테나의 구성을 Differential Coil이라 부른다. 이 경우 코어를 라인안테나의 왼쪽에 놓으면 전류가 흐르는 방향은 그림2의 ②와 같다. 코어를 이동시켜 라인안테나의 오른쪽에 놓으면 전류의 방향은 그림 2의 ②와 반대가 된다.

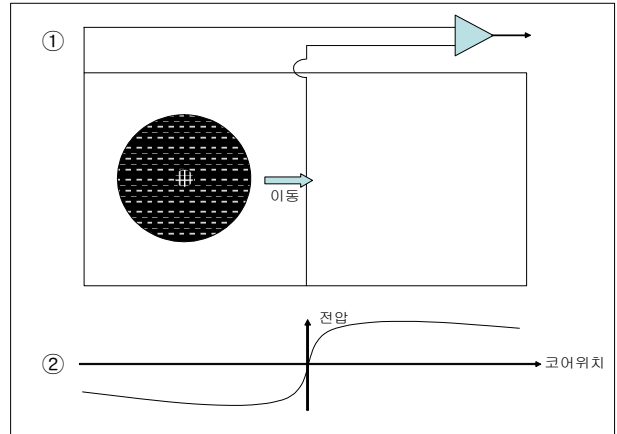


그림 3. 코어의 이동에 따른 출력 전압의 변화  
Fig 3. Changes in output voltage by the movement of the core

위 그림 3의 ①과 같이 라인안테나가 설치된 루프코일에서 코어의 위치를 루프코일의 좌측에서 우측으로 이동하면 위 그림 3의 ②와 같이 전압이 변화한다. 코어의 이동에 따라 출력 전압이 변화하며 라인안테나에 주는 영향이 코일의 위치에 따라 다르므로 라인안테나를 여러개 설치하여 코일의 위치는 고정시키고 라인안테나를 차례대로 출력전압을 확인한다.

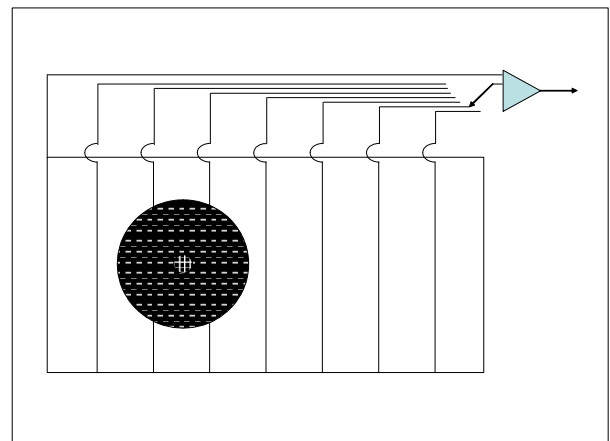


그림 4. Differential Coil의 구성  
Fig 4. The configuration of Differential Coil

위의 그림 4과 같이 루프코일에 7개의 라인안테나를 설치한다.

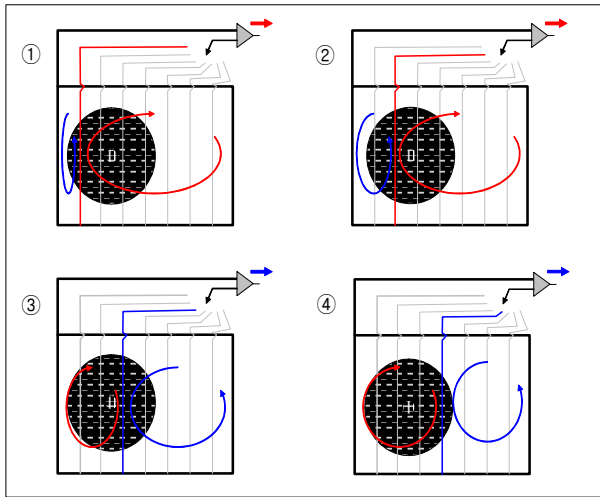


그림 5. 라인안테나의 전환 따른 전류의 변화  
Fig 5. Changes in output voltage by switch of line antenna

7개의 라인안테나가 설치된 루프코일에 코어의 위치를 고정시키고 라인안테나를 순차적으로 바꾸어가며 라인안테나에 흐르는 전류의 세기를 측정할 수 있다. 라인안테나를 순차적으로 전환하는 경우 위의 그림과 같이 전류가 흐르게 되며 각 라인의 전류의 세기는 각각 다르며 아래 그림 6과 같이 나타난다.

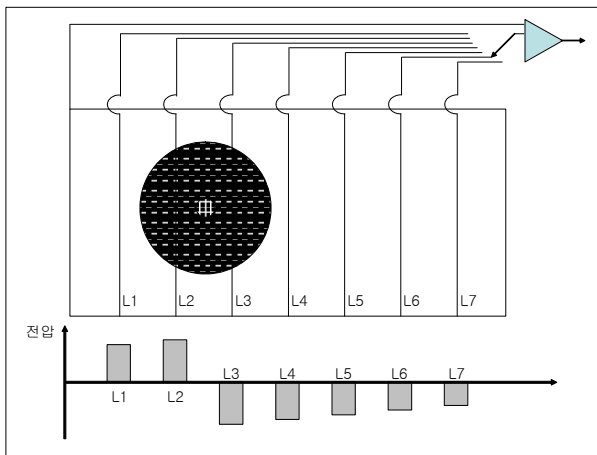


그림 6. 펜의 위치와 각 라인안테나의 출력전압  
Fig 6. Position of pen and output of each line antenna

## 2. 태블릿 시스템 설계

### 가. 전체 시스템 구성

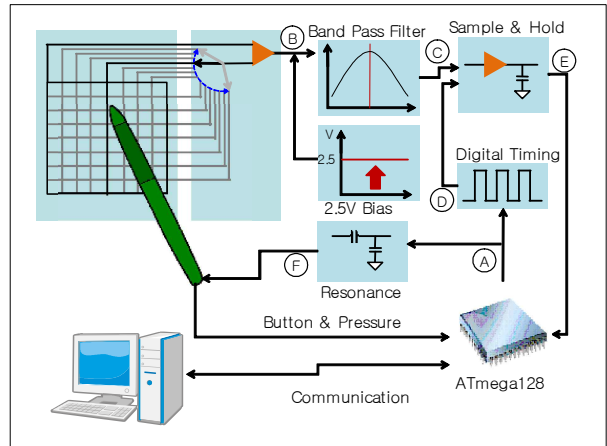


그림 7. 전체 시스템 구성도  
Fig 7. System configuration

위의 그림 7에서와 같이 펜의 공진에 의해 발생된 에너지는 패드로 전달되며, 패드의 각 라인 안테나를 스캔하여 각 라인의 전압의 크기를 알아낸다. 각 라인의 전압은 증폭, 필터, 샘플 앤 홀드 회로를 거쳐 MCU의 A/D 컨버터로 입력되게 된다. 입력된 데이터는 디지털화 되어 좌표와 필압을 알아 낼 수 있는 데이터가 되고, 그 데이터를 처리하여 펜의 좌표와 필압을 알아낸다.

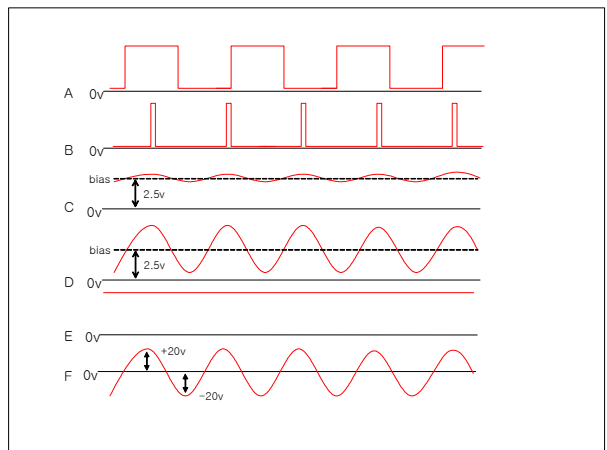


그림 8. 각 지점의 신호  
Fig 8. Signal of each point

위 그림 8은 위의 그림8의 각 부분에서의 파형을 보여 준다. 파형을 설명하면 A는 기본 공진을 위한500kHz의 클럭이며, B는 샘플앤홀드 컨트롤 펄스이다. C는 기본 2.5V를 기준으로 패턴을 통하여 차동증폭기로 들어가는

신호이며, D는 증폭기를 거쳐서 나온 신호가 밴드패스필터를 거쳐 노이즈가 제거된 신호이다. 그리고 E는 B에서 발생된 샘플앤홀드 컨트롤 신호를 받아 샘플앤홀드가 되어 나오는 신호의 파형이다. 마지막으로 F는 A펄스 신호가 펜의 공진회로를 거쳐 발생하게 되는 파형이다. 결과적으로 위의 그림 7에서와 같이 구성되어진 하드웨어는 위의 그림 8에서와 같은 파형을 만들어 내며, 데이터를 처리하여 좌표를 알아낸다.

나. 구동 회로 설계

(1). 공진

전자기파는 주파수라는 성분을 내재하고 있다.

광범위하게 공진의 의미를 정의하면 주파수 선택적 특성을 가지는 현상을 의미한다. 각자 사용하고자 하는

주파수대역이 있다고 가정한다. 모든 RF시스템은 자기가 사용하는 특정 주파수 성분만 교묘하게 골라내어 처리해야 하는데, 이렇게 주파수를 선택해야 하는 모든

경우에 공진의 개념이 적용될 수 있다. 즉, 입력되는 신호의 주기와 공진구조물이 가진 고유의 주기성이 일치됨으로써 발생하는 것을 공진이라고 한다. 이러한 공진의 발생은 크게 전기적 공진과 구조적 공진으로 나눌 수 있다. 여기서는 전기적 공진인 LC 공진을 의미한다. 수동소자 L과 C를 사용하며, 인덕터와

캐패시터는 전/자기 에너지 축적소자이다. 순간적인 전자기 에너지 축적과 방출 특성 때문에 캐패시터와 인덕터는 정반대의 주파수 특성을 보인다. 인덕터는 주파수가 낮을수록 통과를 잘 시키는 특성이 있고, 캐패시터는 반대로 주파수가 높을수록 잘 통과시키게 된다. 같은 주파수에서 인덕터는 통과하지 못하도록 힘을 줄 것이며, 캐패시터는 통과할 수 있도록 할 것이다.

L과 C값의 조절에 의해 특정 주파수에 대해 선택적 특성을 만들 수 있다는 점, 즉 공진을 쉽게 유발해낼 수 있다는 점이 가장 중요하다고도 볼 수 있다. 이러한 특성들을 활용하여 공진을 만드는데, 공진이 생성되는 특정 주파수대를 공진주파수라고 하며,

$$Freq = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

식을 사용하여 주파수 계산할 수 있다.

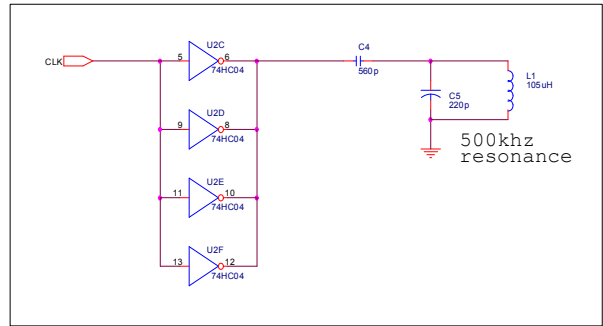


그림 9. 펜의 공진회로  
Fig 9. Resonance circuit of pen

(2) 밴드패스필터

원하는 형태의 신호파형만 통과시키고 원하지 않는 파형들을 걸러 내는 전자 회로의 한 가지로써 인덕턴스 L 및 용량 C의 조합으로 이루어진다. 기능상으로 분류하면, 어느 주파수 이하의 신호를 통과시키는 저역 필터, 어느 주파수 이상의 신호만 통과시키는 고역 필터, 어느 주파수 대역의 신호를 통과시키는 대역 통과 필터(BPF)와 어느 주파수 대역의 신호만을 정지시키는 대역 소거 필터(BEF)가 있다.

본 연구에서는 구동주파수성분을 통과시키면서 증폭을 위하여 아래 그림11와 같은 회로를 구성하였다.

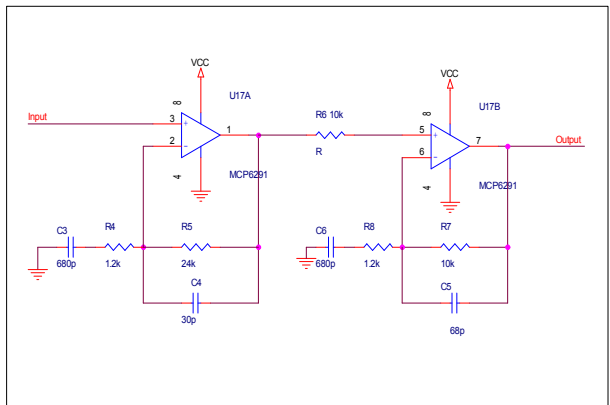


그림 10. 밴드패스필터회로  
Fig 10. Circuit for band pass filter

(3) 샘플 앤 홀드

연속 변화하는 아날로그 신호를 표본화하여 양자화하려면 약간의 시간지연이 발생한다. 따라서 다음의 A/D 컨버터로 변환작업이 끝날 때까지 그 값을 보존할 필요가 있는데 이 역할을 하는 것이 샘플앤홀드 회로로 아래 그림15과 같이 구성하였다.

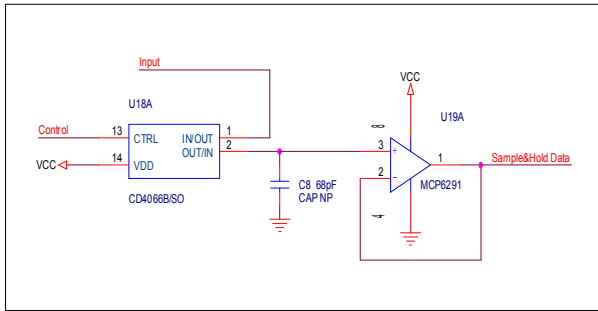


그림 11. 샘플앤홀드 회로  
Fig 11. Circuit for sample and hold

(4) 버튼과 필압

태블릿의 장점 중의 하나인 버튼과 필을 이용하여 기능의 추가가 가능하다는 것이다. 여기에서 사용되는 펜은 마우스와 동일한 기능을 사용할 수 있도록 2개의 버튼과 필압을 적용하였다.

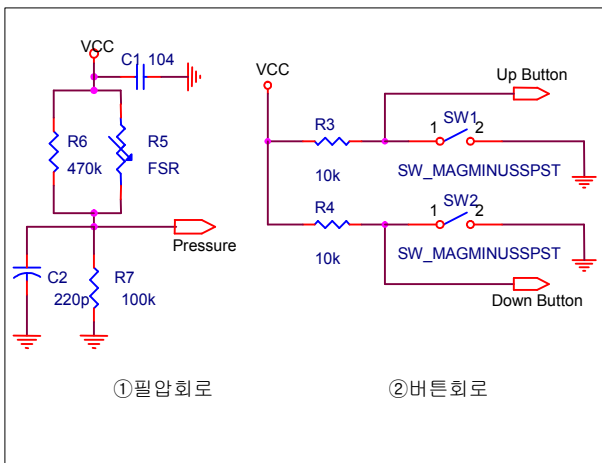


그림 12. 필압회로와 버튼회로  
Fig 12. circuit of pen pressure and button

III. 좌표 측정 알고리즘

펜이 임의의 루프코일 선상에 위치했을 경우 각 채널에서 측정된 데이터를 이용하여 그래프를 그리게 되면 zero-crossing이 되는 부분이 있다. 이때 zero-crossing을 기준으로 하여 임의의 데이터를 추출하여 아래 그림 13의 ①과 같은 그래프로 표현 했다.

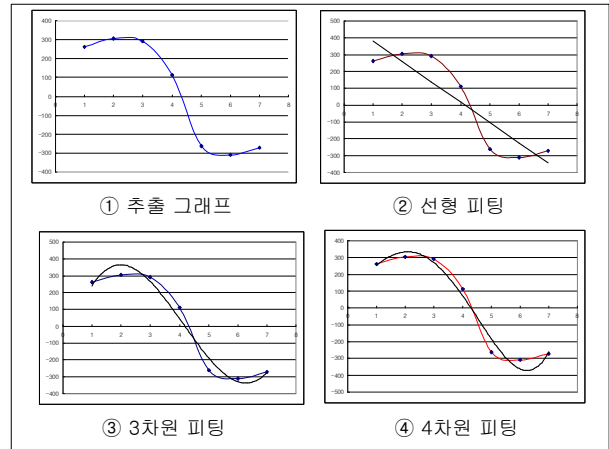


그림 13. 추출 데이터와 여러 가지 Fitting  
Fig 13. Sample data and various fitting

추출한 데이터를 이용하여 그래프에 피팅을 실시하여 위 그림 를 그렸다. 각각 선형, 3차 다항식, 4차 다항식의 피팅을 실시했다. 3차 다항식과 4차 다항식을 이용하여 피팅을 한 그래프의 추세선은 거의 흡사함을 알 수 있다. 따라서 3차 다항식을 이용하여 피팅하는 방법을 이용했다. 측정된 자료를 curve fitting 방법 중 고차다항식을 이용한 curve fitting방법을 이용했다.<sup>[3]</sup> 3차다항식을 이용하므로 다항식은 다음 식 1과 같다.

$$g(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 \quad (1)$$

위 식 1의 계수를 유도하기 위해서 아래의 행렬을 이용한다.

$$\begin{bmatrix} L & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \\ \sum x_i^3 y_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

위의 행렬을 간단하게 표현하면  $[B][A]=[C]$  과 같이 표현할 수 있으며 여기에서 A행렬의 요소는 다음의 식 3으로 표현된다.

$$\sum x_i^N = x_1^N + x_2^N + \dots + x_{L-1}^N \quad (3)$$

위의 식 3에서  $x_1, x_2, \dots, x_{L-1}$ 을  $x$ 에 관한 식으로 변환하면 다음 식 4와 같다.

$$\begin{aligned} x_1 &= x, x_2 = x+d, x_3 = x+2d, x_4 = x+3d, \\ x_5 &= x+4d, x_6 = x+5d \end{aligned} \quad (4)$$

위의 식 4에서 d는 본래 라인안테나 간의 간격이지만 편의를 위해서 1이라 가정하고 식을 정리하면 다음과 같다.

$$\sum x_i^N = x^N + (x+1)^N + \dots + (x+(L-1))^N \quad (5)$$

위 식 2를 기호화하여 정리하면

$$\begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & f_{14} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & f_{24} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & f_{34} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} & f_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

와 같고, B 행렬의 요소들의 값은 위의 식 5를 이용하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} f_{11} &= L \\ f_{12} = f_{21} &= \sum x_i \\ f_{13} = f_{22} = f_{31} &= \sum x_i^2 \\ f_{14} = f_{23} = f_{32} = f_{41} &= \sum x_i^3 \\ f_{24} = f_{33} = f_{42} &= \sum x_i^4 \\ f_{43} = f_{34} &= \sum x_i^5 \\ f_{44} &= \sum x_i^6 \end{aligned}$$

각 요소의 값은 식을 이용하여 x와 L에 관한 식으로 정리할 수 있다.  $f_{11}$ 을 제외한 모든 요소의 값이 x와 L에 관한 식으로 정리되며 여기서 x는 0을 대입하면 L에 관한 식으로 정리하면 B행렬은 아래의 식 7과 같다.

$$\begin{pmatrix} L & \frac{1}{2}(-1+L)L & \frac{1}{6}L(1-3L+2L^2) & \frac{1}{24}(-1+L)L(-L+L^2) \\ \frac{1}{2}(-1+L)L & \frac{1}{6}L(1-3L+2L^2) & \frac{1}{4}(-1+L)L(-L+L^2) & \frac{1}{8}\left(-\frac{L}{6} + \frac{5L^2}{3} - \frac{5L^3}{2} + L^4\right) \\ \frac{1}{6}L(1-3L+2L^2) & \frac{1}{4}(-1+L)L(-L+L^2) & \frac{1}{5}\left(-\frac{L}{6} + \frac{5L^2}{3} - \frac{5L^3}{2} + L^4\right) & \frac{1}{8}\left(-\frac{L^2}{2} + \frac{5L^3}{2} - 3L^4 + L^5\right) \\ \frac{1}{24}(-1+L)L(-L+L^2) & \frac{1}{8}\left(-\frac{L}{6} + \frac{5L^2}{3} - \frac{5L^3}{2} + L^4\right) & \frac{1}{8}\left(-\frac{L^2}{2} + \frac{5L^3}{2} - 3L^4 + L^5\right) & \frac{1}{3}\left(\frac{L}{6} - \frac{7L^2}{6} + \frac{7L^3}{2} - \frac{7L^4}{2} + L^5\right) \end{pmatrix} \quad (7)$$

위의 식 7을 이용하여 B의 역행렬을 구할 수 있다. C행렬은 아래의 식 8과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} c_1 &= y_1 + y_2 + \dots + y_{L-1} \\ c_2 &= y_1x_1 + y_2x_2 + \dots + y_{L-1}x_{L-1} \\ c_3 &= y_1x_1^2 + y_2x_2^2 + \dots + y_{L-1}x_{L-1}^2 \\ c_4 &= y_1x_1^3 + y_2x_2^3 + \dots + y_{L-1}x_{L-1}^3 \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 식 8은 위의 식 4에 의해 정리된다.

자료의 개수가 결정되면  $y_i$ 는 주어지는 값이고, matrix B를 알고 있으므로 A행렬을 구할 수 있다.

여기서 정해진 L을 입력하고 자료의 개수에 맞는 자료를 안다면 A행렬을 구할 수 있고, 이 식을 이용하여 알고리즘을 적용하여 프로그램을 구성할 수 있다.

#### IV. 실험 및 결과

위의 알고리즘을 적용하여 어플리케이션 프로그램을 구성하여 실험을 진행했다. 앞에서 설계한 유선 태블릿 시스템을 그림 8과 같이 구현하여 알고리즘을 이용하여 펜의 위치를 찾는 결과를 그림 14에 보였다.

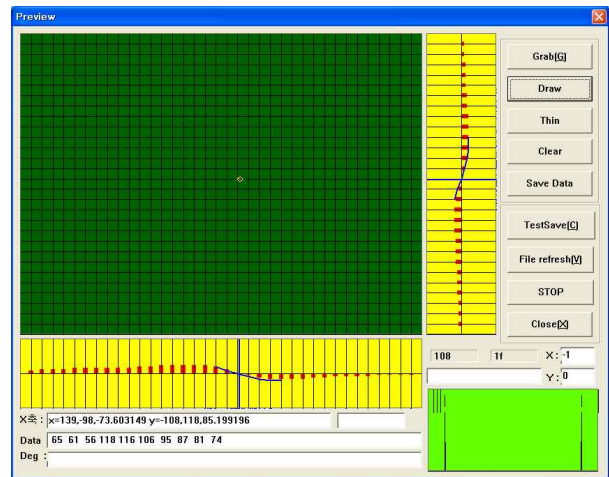


그림 14. 구현된 시스템을 이용하여 좌표측정  
Fig 14. Coordinate measurement using Implemented system

또한 펜의 필압과 버튼을 이용하여 태블릿에서 그림을 그리고 필기를 한 그림은 아래 그림 15과 같다.

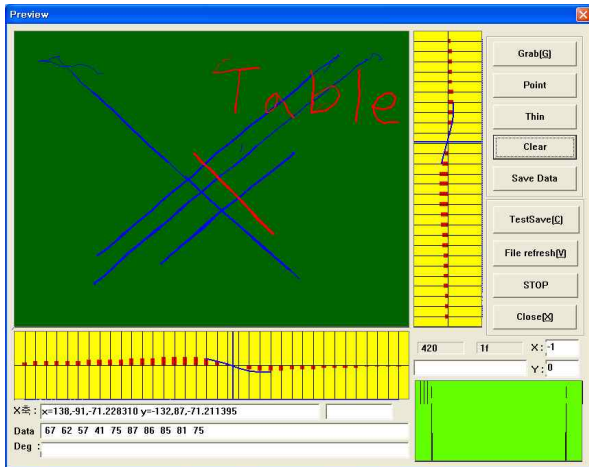


그림 15. 필압과 버튼을 이용한 결과  
Fig 15. Result using pen pressure and button

## V. 결 론

현재까지 좌표 추적과 필압 감지, 버튼까지 구현이 되었다. 새로운 응용프로그램들과의 연계 및, 현재 추가되지 못한 기능들의 추가 되어야 할 것이며, 앞으로 계속 연구 개발하여 목표하고자 했던 수준의 기능 구현을 이루어야 하겠다. 또한, 전자기장을 이용한 방식에 있어서의 새로운 아이디어 도입도 검토해 봐야 하겠다.

## 참 고 문 헌

- [1] 중앙SUNDAY, [http://sunday.joins.com/up/pdf/W005W5005\\_20080224\\_4019038\\_W5001\\_01.pdf](http://sunday.joins.com/up/pdf/W005W5005_20080224_4019038_W5001_01.pdf), pp38, Feb, 2008
- [2] 조광석, 정광욱, “기초전자자기학”, 광명, 1999
- [3] Shoichiro Nakamura 저, 이현열, 박정희 역 “C로 쓴 수치해석”, 대영사, pp314-316, 1997

## 저자 소개

### 홍 동 구(준회원)



- 2008년 선문대학교 정보통신공학부 학사 졸업.
- 2009년 ~ 현재 선문대학교 정보통신공학과 석사과정.
- 2010년 2월 졸업예정
- <주관심분야 : 응용하드웨어, 자동제어>

### 유 영 기(정회원)



- 1987년 한양대학교 기계공학과 졸업.
- 1989년 한국 과학기술원 생산공학 석사 졸업.
- 1996년 과학기술원 자동화 및 설계공학과 박사수료
- 1996년 ~ 현재 선문대학교 정보통신공학과 교수.
- <주관심분야 : 정밀계측, 광 응용 계측기술, 화상처리, 컴퓨터 비전>

### 오 춘 석(정회원)



- 1980년 서강대학교 전자공학과 학사.
- 1986년 Marquette 대학 컴퓨터 공학 석사.
- 1992년 Univ. of Arizona 컴퓨터공학 박사.
- 1980년 ~ 1993 전자통신연구원 선임연구원.
- 1993년 ~ 현재 선문대학교 정보통신공학과 교수.
- <주관심분야 : 신호처리 및 화상처리, 머신비전>