

논문 2009-1-7

# 액상분말 디스플레이소자의 계조표현을 위한 구동방식 개발

## Development of Drive Method for Gray scale Representation by Liquid Powder Display Panel

최규석\*

Gyoo-Seok Choi

요 약 전자종이를 구현하는 여러 가지 기술이 제안되어 연구되고 있으나 아직까지는 전자종이로서의 완전한 요구를 충족시키지 못하고 있다. 본 연구의 주요 목표는 종이 인쇄물과 기존의 디스플레이 매체를 대신할 수 있는 새로운 표시소자인 전자종이(e-paper)의 구동조건 및 계조 표현 방법을 개발하는 것이다. 이를 위해 상판 및 하판 분리 충전 방식으로 제작된 액상분말 디스플레이 소자를 위한 구동회로 설계 및 셀단위 계조표현이 가능하다 채널 구동 장치를 개발하였으며, 연구내용을 바탕으로 액상분말 디스플레이 소자의 특성을 개선할 수 있는 방향을 제시하였다.

**Abstract** Many techniques to realize e-paper is proposed, but full requirement of e-paper is still not satisfied. In this paper, driven condition and gray scale representation method of e-paper is proposed. As a result of this study, multi-channel drive for allowing gray scale representation by cell is developed. And also drive circuit design for liquid powder display panel is developed.

**Key Words :** e-paper, gray scale, display panel

### I. 서 론

정보화 사회로의 발전은 시간과 장소에 구애받지 않고 자유롭게 네트워크를 통한 인터넷, 디지털 콘텐츠, 멀티미디어, 통신 등이 융합된 형태로 정보를 교환할 수 있는 유비쿼터스 컴퓨팅을 지향하고 있다. 이러한 정보화 사회에서 각종 정보는 사용자중심의 GUI 기반을 통해 이해하기 쉽고 조작성이 편리한 형태를 취하고 있으며, 여러 가지 디스플레이 장치를 통해 사용자에게 인식할 수 있는 환경을 제공하고 있다. 이러한 상황에서 디스플레이 장치는 기존의 무겁고 휴대하기 불편한 독립적인 형태에서 벗어나서 점차 각종 기기의 컨버전스화를 통해 소형화, 경량화, 저전력화의 형태로 진화하고 있는 추세이다

[1]. 이러한 추세에서 디스플레이 장치는 기존의 브라운관(CRT) 형태의 디스플레이에서 점차 LCD, PDP, OLED 등의 평판 디스플레이(FPD: Flat panel Display) 형태로 변화되었으나, 이러한 평판 디스플레이 장치는 유리 기판을 이용한다는 점 때문에 깨지기 쉽거나, 변형이 불가능하다는 단점으로 해서 휴대하기는 매우 불편한 상태이다. 이러한 문제점을 극복하기 위한 하나의 방안으로 최근 전자 종이(e-paper)와 같은 플렉시블 디스플레이(Flexible Display)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 플렉시블 디스플레이는 종이와 같이 본래의 유연한 장점을 유지하면서 정보의 디지털화 및 유비쿼터스에 대응할 수 있는 새로운 매체로 주목받고 있으며 단기적으로 휴대폰, PDA와 같은 모바일 전자 디스플레이 장치들을 상당부분 대체할 것으로 예측되고 있다. 또한 장기적으로는 전자신문, 전자 책(e-book), Signage, 교통안

\*종신회원, 청운대학교 컴퓨터학과  
접수일자 2008.12.15, 수정완료 2009.2.07

내판 등에 이르기까지 광범위한 적용이 가능하다고 판단 된다[2]. 이러한 플렉시블 디스플레이의 한 분야인 전자 종이(e-paper)의 경우는 디스플레이의 장점과 종이의 장 점을 결합한 것으로서 paper like display의 형태로 차세대 정보 디스플레이의 주류를 이룰것으로 예상되고 있고 미국, 일본, 한국 등 국내외 연구개발업체에서 제품상용 화를 위한 연구를 활발히 진행하고 있다[3].

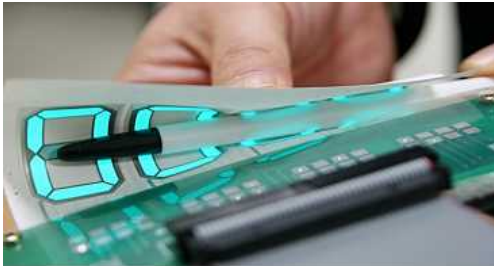
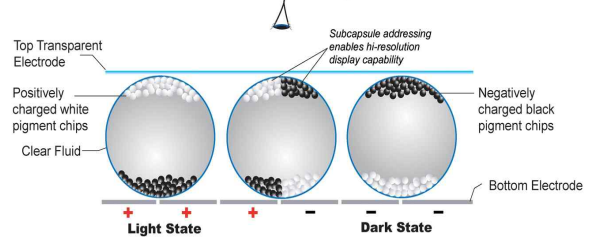


그림 1. 전자종이 디스플레이의 실제모습  
Fig 1. Real shape of e-paper display

최근 유비쿼터스 환경을 위하여 디스플레이가 추구해 야 할 3가지 연구테마(박형화, 대형화, 유연화) 중의 하나 로 종이와 기존의 무겁고 큰 공간을 점유하는 디스플레이 를 대체할 수 있는 디바이스 개발의 필요성이 대두되 면서 전자종이 기술에 대한 관심이 더욱 증가하고 있으 며, 전자종이는 서지 대체용 전자장치, 옥내외 실시간 광 고판의 디스플레이 및 개인용 휴대 장치로도 이용가능하 며 자료를 다룬 받거나 입력, 삭제, 저장이 가능하며 쓰고 지우기를 반복할 수 있다. 특히 전자종이 기술 기반의 7 인치급 이하의 플렉시블 디스플레이는 기존의 TFT-LCD 대비하여 화질과 색상 등 품질 면에서 경쟁적 이지는 않지만 얇고, 가볍고, 전력소모가 극단적으로 작 다는 큰 장점을 가지고 있으며 향후 잠재적인 시장점유 를 위해서 전자종이의 특성 및 기술 확보가 시급한 실정 이다. 전자 종이는 표시매체 중 가장 우수한 시각특성을 가지고 있는 디지털 종이며 미래의 평판디스플레이로 확실한 주목을 받고 있다. 즉 기존의 종이와 잉크처럼 높 은 해상도, 넓은 시야각, 밝은 흰색 배경을 가지고 있다. 또한 플라스틱, 금속, 종이, 투명유리 등 어떠한 기판 상 에도 구현이 가능하다. 전원 차단 후에도 화상이 유지되 며 LCD에서와 같은 백라이트가 필요 없어 배터리의 수 명이 오래 유지되므로 원가 절감 및 경량화의 장점을 가 지고 있다. 그동안 개발되어온 전자종이 구현기술로는 E-Ink의 마이크로캡슐 전기영동방식 전자종이, Gyricon 의 트위스트 볼 방식의 전자종이, SiPix의 microcup형태

의 전자종이, Liquavistad의 전기습윤을 이용하는 방식, 그리고 본 연구와 관련된 액상분말 디스플레이의 전자종 이 기술 등이 있다[4][7][8].

Cross-Section of Electronic-Ink Microcapsules



NOTE: Copyright E Ink Corporation, 2002. Image not drawn to scale - for illustration purposes only.

E · I N K

그림 2. 마이크로 캡슐형 전자종이  
Fig 2. Microcapsule type e-paper

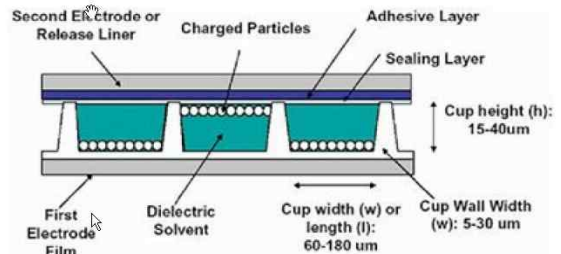


그림 3. 마이크로컵 전자종이  
Fig 3. Microcup type e-paper

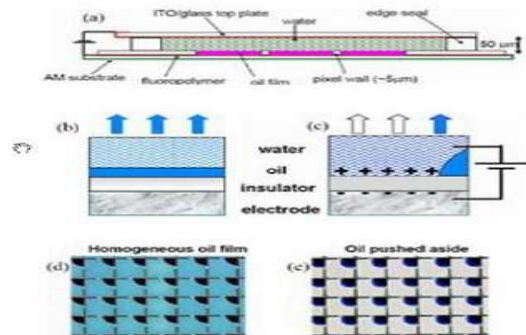


그림 4. 전기습윤 전자종이  
Fig 4. Electrowetting type e-paper

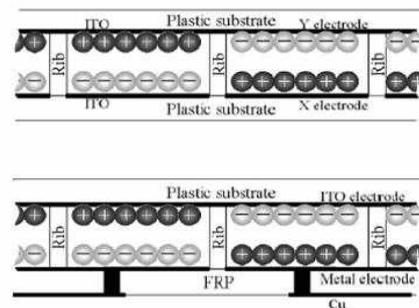


그림 5. 액상 분말 전자종이  
Fig 5. Liquid powder type e-paper

전기영동을 이용한 전자종이의 대표적인 예가 기술적으로 가장 앞서있는 미국 E-ink사의 마이크로캡슐형 전자잉크이다. 한편, 세이코 엡손에서는 전자잉크를 응용한 손목시계를 개발해서 출시했다. 플라스틱 로직(필립스)에서는 플렉서블 전자잉크를 개발하기도 했다. 또한, 컬러를 구현할 수 있는 기술이 개발되어 광고용으로 제작되기도 했고 유럽에서는 기차 시간표로 설치되기도 했다. 시픽스사의 마이크로캡 형태 전자종이 기술 역시 상점의 가격판, 스마트카드, 전자책, 장난감, POP(point of purchase) 등으로 응용되었고 수중시계로 발표되기도 했다. 국내업체 개발동향으로는 KETI(전자부품연구원)에서 분류체(liquid powder)를 이용한 전기영동 방식의 입자를 개발 중에 있고, 삼성 SDI는 스테인리스 포일을 기판으로 사용한 OLED 기반의 4.1인치 플렉서블 디스플레이를 개발하고 있으며 삼성전자는 플라스틱 기반의 5인치 플렉서블 TFT LCD 및 e-paper를 연구개발 중에 있다[5][6].

이러한 전자종이를 구현하는 여러 가지 기술이 제안되어 연구되고 있으나 아직까지는 전자종이로서의 완전한 요구를 충족시키지 못하고 있다. 현재 상용화 단계까지 진행되었거나 거의 상용화 단계에 이른 대표적인 입자기술 중심의 전자종이일지라도 기술 개발 및 제품화 중이며, 이러한 제품들도 응답 속도, 해상도, 구동전압, 컬러 및 계조 등의 문제들이 요구조건에 미치지 못하거나 근본적인 한계를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 전자종이, 특히 액상 분말형 전자종이의 구동방식 및 제조표현 기술을 확보하고자 함에 있으며, 패널 인가되는 펄스의 진폭, 펄스폭, 상승시간, 주기, AC/DC 등 파형에 따른 전기 및 광학적 특성변화를 측정·평가하여 선택된 제조표현을 위한 구동방식을 확립하고자 한다.

## II. 제조표현을 위한 프로그램 구현

소자의 제조표현을 위한 기본적인 구동방식은 펄스의 개수를 조절하는 방식과 상승 시간을 조절하여 구현하는 방식이 있으며 이러한 사항을 구동회로는 갖추고 있어야 한다. 소자의 제조표현을 위해 동일한 폭을 갖는 펄스의 개수를 조절하여 구현되는 방식으로 이때의 펄스 폭, 펄스의 개수, 선택 시간의 가변성이 확보되어야 한다. 인가되는 구형파의 상승시간을 조절하여 소자의 제조표현을

구현해야 한다. 전반적인 파형의 구현방식은 figure1과 비슷하며 펄스의 개수, 펄스 폭, 상승시간의 가변성 ( $t = 0 \sim 10s$ )이 확보되어야 한다. 또한 입자는 고유 전하량을 갖고 있으므로 문턱전압이 존재하며 문턱전압 이하에서는 입자가 운동하지 않으므로 문턱전압 이하에서는 상승시간의 조절이 필요 없을 것으로 판단된다. 또한 각각의 입자마다 문턱 전압이 다르므로 인가전압의  $V_{th} \neq -V_{th}$ 가 될 것으로 예상되며 구동회로는 이 조건을 만족해야 한다.

이러한 이론적인 내용을 바탕으로 Labview프로그램을 통해 가변형 파형 발생 회로와 연동하여 액상분말 디스플레이 소자를 구동할 수 있도록 하였다. 펄스 폭, 펄스의 개수, 선택 시간에 대한 가변성을 확보하였으며, 펄스의 개수를 조절하는 방식과 상승시간을 조절하여 구동하는 방식 두 가지 모두 적용 가능할 수 있도록 하였다. 그림 12는 E-paper 구동 프로그램 화면이며, 그림 6은 구동 프로그램을 실행하였을 경우 파형과 같이 나타나는 모습을 확인할 수 있다.

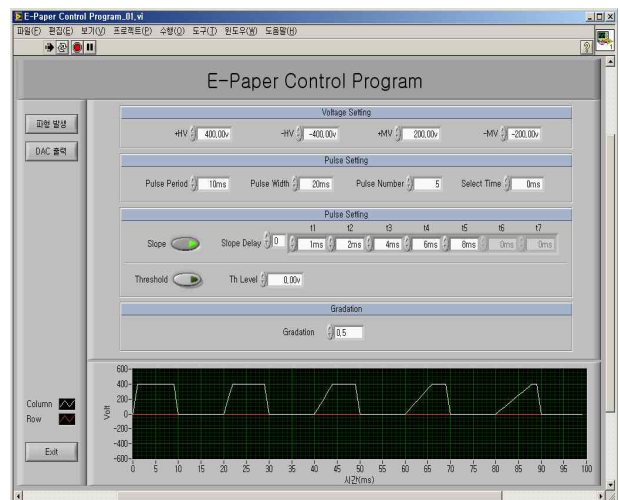


그림 6. Labview로 구현한 구동 프로그램 실행 화면  
Fig 6. Execution screen of drive program which is implemented using Lapview

## III. 구동회로의 구현

### 3.1 블록도 설계

구동회로에 요구되는 사항의 만족도를 높이기 위해서는 전반적인 파형의 가변성이 용이하도록 제작되어야 한

다. 또한 소자의 셀의 개수를 고려하여 전압을 인가할 수 있는 슬롯의 개수가 충분하도록 제작되어야 하므로 8Pair의 출력 신호를 줄 수 있도록 설계하였다. 구현 부분의 Block Diagram을 통해 전체적인 시스템의 흐름을 한눈에 파악할 수 있도록 설계하였다. 구동회로의 전체적인 흐름도는 아래와 같다.

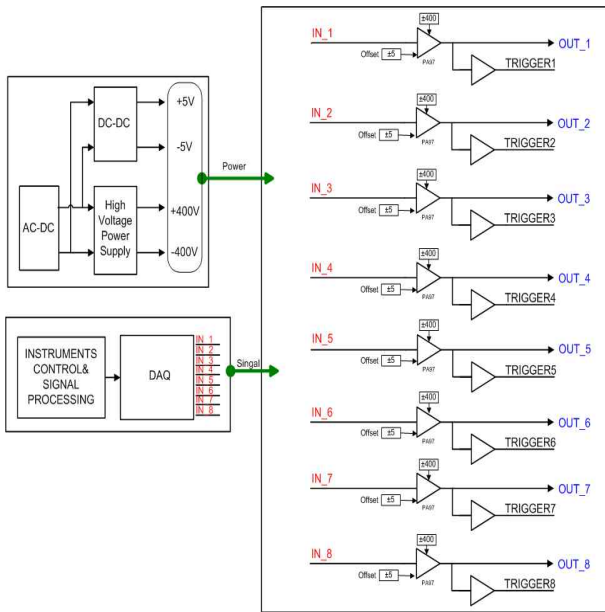


그림 7. 시스템 블록 다이어그램  
Fig 7. System Block Diagram

### 3.2 시제품 구현 및 시연

액상 분말 디스플레이소자의 기본적인 구동전압은 100V로 알려져 있지만 원활한 연구를 위해서는 전압(HV)이 10V~400V까지 1단위씩 변환이 용이하여야 한다. 또한 선택적인 셀 구동을 위해 펄스의 MV(middle voltage)가 있어야 한다. 각각의 액상분말은 전하량의 차이로 인해 소자의 이미지를 변환할 경우 구동전압이 다르다. 만약 A입자보다 B입자의 전하량이 작으면 구동할 경우 A입자의 구동전압보다 B입자의 구동전압이 더 커야 한다. 만약 B입자를 구동한 전압으로 소자를 구동할 경우 A 입자는 높은 구동전압으로 인해 고유전하량 보다 더 많은 전하량을 갖기 때문에 소자의 특성이 감소되는 원인이 되므로 인가되는 전압은 입자의 특성에 맞는 구동전압의 가변성이 확보되어야 한다. Power Supply는 이보다 높은 전압 및 가변성을 확보해야 하므로 최소  $\pm 100V$  이상 구동이 가능한 것으로 Matsusade사의 제품 J4-1N-TC25와 RA10-1P로 선정하였다.



그림 8. RA10-1P 실물 사진  
Fig 8. Real shape of RA10-1P



그림 9. J4-1N-TC25 실물사진  
Fig 9. Real shape of J4-1N-TC25

APEX사의 PA97은 High Voltage용 OP Amp로 소프트웨어에서 보내주는 신호를 증폭하여 E-paper에 신호를 내보낼 수 있도록 하였다. PA97을 사용하여 8pair을 만들 수 있다.



그림 10. PA97 실물사진  
Fig 10. Real shape of PA97

아래 그림 11은 각 소개된 부품을 가지고 실험이 가능하도록 회로를 꾸민 모습이다. AC-DC Power Supply는 High Power용 Input Power에 사용되었고 BNC케이블을 통해 신호의 IN / OUT Port를 만들어 주었다.



그림 11. 가변형 파형 발생 회로  
Fig 11. variable pulse generating circuit

그림 12는 가변형 파형 발생 장비를 구성하여 출력 값을 나타낸 것이다. 2V이상의 펄스 신호를 인가하였을 때 200V이상의 출력신호가 나오는 것을 확인할 수 있다. 액상 분말 디스플레이 소자에 적합한 최상의 조건을 취득하여 데이터를 받을 수 있도록 하였다.

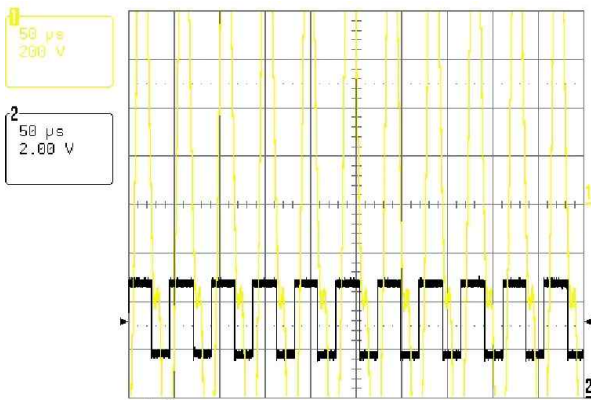


그림 12. 파형 발생 출력 데이터  
Fig 12. Output data of pulse generator

각 패널들의 샘플을 이용하여 구동하였을 때 패널들의 Cell size, 격벽높이, 격벽 폭, 입자들의 Mixing 여부에 따라서 구동전압 역시 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 각 액상분말 디스플레이 소자의 조건마다 조건을 바꾸어 최적화된 신호를 인가할 수 있도록 구현되었다.

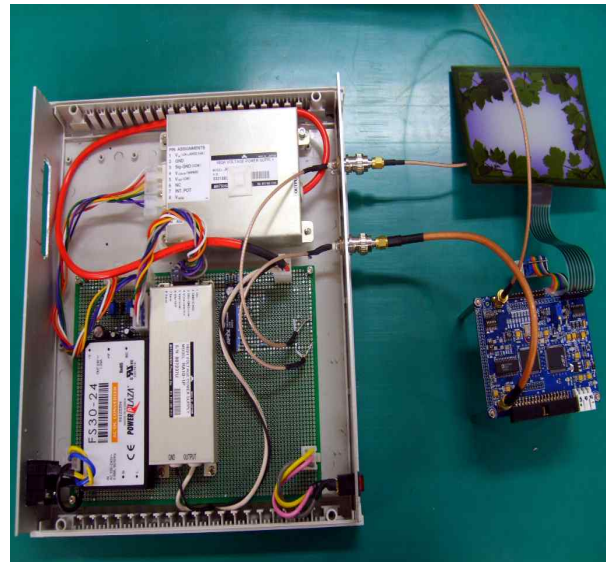


그림 13. 액상 분말 디스플레이 소자 구동회로 시연  
Fig 13. Drive circuit demonstration of liquid powder display panel

#### IV. 결론

전자종이는 종이처럼 얇고 가벼우며 구부릴 수 있는 디스플레이를 제작할 수 있게 되어 신문, 잡지, 책, 광고 패널, 교통안내판 등에 적용되는 것은 물론 기존의 모바일 디스플레이를 대신할 수 있는 차세대 디스플레이로 기존의 종이를 대체할 경우 환경오염을 줄일 수 있으며, 구부릴 수 있는 하드웨어에 실시간으로 정보를 표시할 수 있게 되어 시간과 장소에 구애받지 않고 자유롭게 네트워크를 통한 인터넷, 디지털 콘텐츠, 멀티미디어, 통신 등이 융합된 유비쿼터스 환경을 이루는데 기여하게 된다. 특히 본 연구에 개발된 디스플레이 소자의 셀단위 제조표현을 위한 구동 방식 개발은 향후 컬러 필터를 사용하지 않고 풀컬러 디스플레이를 제작할 수 있게 되어 관련 산업에 지대한 파급효과가 기대된다. 또한 액상 분말 디스플레이 소자의 높은 구동 전압으로 인해 적합한 구동방식 개발로 응용분야가 확대되어 관련 산업에 대한 파급효과 역시 기대되고 있다. 전자종이는 향후 기대되는 분야인 만큼 액상 분말 디스플레이 소자의 높은 구동 전압으로 인해 적합한 구동방식 개발로 응용분야가 확대되어 관련 산업에 대한 파급효과 역시 기대된다. 전자종이 제품의 성능과 관련된 Contrast ratio, Reflective response time, 광학적 특성의 성능을 한 단계 향상시키

고, 향후 Color Filter를 사용하지 않고 Full Color Display를 제작이 가능할 수준으로 향상 될 경우 신문, 책, 광고패널, 교통 안내판 등에 실용적으로 접근할 수 있는 아이템으로 사업화 할 계획으로 적극적인 전개에 의한 시장 규모가 크게 증대될 것으로 예상 된다.

### 참 고 문 헌

[1] 엄금용, 디스플레이공학, 기전연구소, 2008.  
 [2] 이신두, 이재훈, 유창제 역, 플렉시블 평판디스플레이, 청범사, 2008.  
 [3] “전자종이 기술”, 제 26호, 한국과학기술정보연구원, 2004.  
 [4] 이남희, 김중희, 오호진외 3인, “Particle 기반의 전 기영동형 E-Paper, 전기전자재료 제18권 제5호, 2005.  
 [5] 이미정, 한정인, 문대규, “입자기술에 기반한 E-Paper 기술동향”, KETI 디스플레이 연구센터, 2006

[6] 박이순, 한윤수, “E-Paper기술 로드맵”전자부품연구원, 2004.  
 [7] R. Hattori, S. Yamada, Y. Masuda, N. Nihei, “A novel bistable reflective display using quick-response liquid powder”, Journal of SID03 Digest, 2003.  
 [8] R. Hattori, S. Yamada, “ultra Thin and Flexible paper-like display using QR-LPD Technology” Journal of SID04 Digest, 2004.  
 [9] S.H. Kwon et al., “Flexible paper-like display using charged polymer particles”, Journal of SID06, 2006.  
 [10] <http://www.sipix.com>  
 [11] <http://www.e-ink.com/company/partners.html>  
 [12] <http://www2.parc.com/hsl/projects/gyricon/>  
 [13] <http://www.eink.com/index.html>

### 저자 소개

#### 최 규 석(중신회원)

제8권 제6호 참조

- 1987년 1월~1997년 1월 (주)데이콤 정보통신연구소 연구원 및 (주)SK텔레콤 중앙연구원 책임연구원 근무, 1997년 ~ 현재 청운대학교 컴퓨터학과 교수
- <주관심분야 : 이동통신, 인공지능, 인공생명, 지능형 교통체계(ITS), 이동 컴퓨팅, 디스플레이장치>