

PDP 연구 및 개발동향

□ 이석현 / 인하대학교 전자전기공학부 교수

서론

사람과 정보를 시각적으로 연결하는 소자로서 디스플레이의 중요성은 점점 더 증대되고 있다. 칼라 텔레비전의 보급과 함께 사람들은 더욱 고품질의 디스플레이를 원하게 되었고 특히 대형이면서도 두께가 얇은 표시소자를 선호하게 되었다.

현재 다양한 표시소자가 연구 개발되어 시판되고 있다. 그 중 대표적인 것으로는 LCD, PDP, OLED, Projection 등이 있다. 대형 텔레비전 표시 소자로서 처음 일반화된 디스플레이는 프로젝션 방식이다. 북미 시장을 중심으로 DLP 타입의 프로젝션 TV가 많이 보급되었다. 최근에는 대형 TV 시장에서 PDP 텔레비전이 가장 많이 보급되고 있다. 특히 2006년 독일 월드컵 등으로 인한 수요 증가를 겨냥하여 PDP 패널 업체들이 대대적인 증산을 시행하고 있다. 전통적인 디스플레이 강국인 우리나라가 압도적인 시장점유율을 유지하고 있다. PDP 모듈 기준으로 LG 전자와 삼성 SDI 각각 1,2 위를 다투고 있으며 일본의 마쓰시타가 3위를 유지하고 있다. 내년을 기준으로 3개의 회사가 연 30만대 정도의 생산시설을 갖게 되어 세계시장에서 3강 체제를 유지할 것으로 예상되고 있다.

그리고 최근에는 LCD에서도 대형 텔레비전을 생산 시판하고 있다. LCD 디스플레이는 중소형을 중심으로 모니터로 주로 이용되었으나 최근에는 대형 TV 시장

으로도 영역을 확장하여 PDP TV와의 경쟁이 불가피할 것으로 예상된다. 이외에도 OLED 방식이 있으나 아직은 기술 및 시장이 성숙되지 않았다. 하지만 OLED 방식은 기술적 우수성으로 인하여 풍부한 잠재력을 가진 표시소자로 기대되고 있다.

먼저 PDP 개발 역사를 간략히 살펴보고 PDP 소비전력에 대한 일반의 잘못된 지식에 대하여 설명한다. 그리고 PDP 연구 및 개발 내용과 장단점을 비교 설명한다. 마지막으로 맺음말로 본고를 정리하고자 한다.

PDP 개발 역사

PDP의 개발 역사를 보면 1927년 Bell 시스템에서 개발한 가스방전을 이용한 표시장치가 최초이다. 그림 1은 당시에 개발한 영상 표시 장치로 기계적 스위치를 사용하여 단색 동영상을 표시하였다. 표시화면 60cm × 70cm에 50 × 50 화소가 들어있다.[1] 1927년은 CRT를 이용한 텔레비전이 쯔볼킨에 의해 시작된 1929년보다 2년 앞선 것이다.

1956년 Burroughs사에서 NIXIE Tube를 이용한 DC형 숫자 표시관이 개발되었다.(그림 2) 공통 전극과 숫자 모양의 전극 사이의 방전을 이용하여 단순히 숫자를 표시하는 장치이다. 1964년 미국 일리노이 대학의 Bitzer와 Slottow가 교류형 PDP를 처음으로 개발하고 Plasma Display Panel (PDP)라고 처음으로 명명하

였다.[2] 이후 PDP 연구는 미국에서 일본으로 옮겨져 일본의 회사를 중심으로 발전하였다. 일본 국영 연구소인 NHK는 DC PDP를 주로 연구하여 기초적이고 괄목할만한 연구성과를 많이 발표하였다. 그리고 일본의 기업인 Fujitsu는 AC PDP를 주로 개발하였으며 상품화

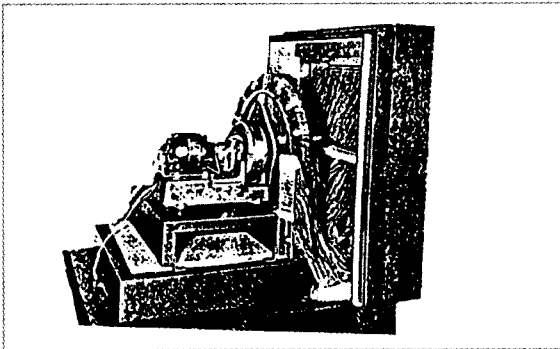


그림 1 최초의 방전관을 이용한 영상 표시장치 (1927년 Bell 연구소)

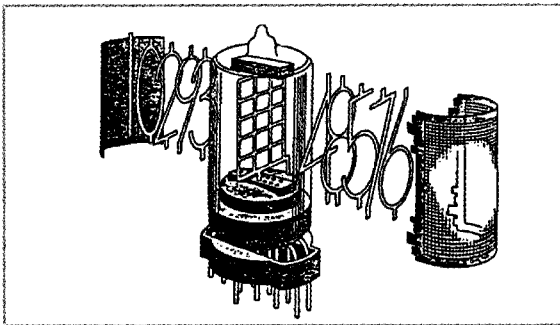


그림 2 NIXIE 방전 표시 장치 (DC형 방전 숫자 표시관)



그림 3 삼성 SDI에서 발표한 80인치 PDP (2004년)

를 선도하였다. 구조적인 면에서는 stripe 형태의 격벽 구조를 가진 3전극형을 취하고 구동방식에서는 어드레싱과 서스테인을 분리하여 구동하는 ADS 방식을 취하였다. Fujitsu는 1993년 21인치 Full color AC PDP를 상품화하여 일반 소비자들이 PDP 텔레비전을 구입할 수 있게 되었다.

우리나라에서도 1995년 정부와 기업 그리고 학계가 같이 시작한 G7 사업의 일환으로 PDP 연구개발이 본격적으로 시작되어 10년 만에 일본을 제치고 PDP 강국으로 부상하였다. 이러한 초고속 성장은 정부와 기업 그리고 대학이 3위 일체가 되어 시너지 효과가 발생하였기 때문에 가능한 것으로 사료된다. 이에 비하여 일본은 기업 위주의 성장이었으며 적기의 투자가 이루어지지 않아 마쓰시타를 제외하고는 선두기업인 Fujitsu를 포함한 대부분의 기업들이 사업을 축소 혹은 정리하고 있다.

한국의 기업으로는 삼성과 LG가 PDP 개발을 선도하고 있으며 1998년 LG가 60인치 제품을 발표하면서 대형화 추세가 본격화되었다. 현재는 100인치 급의 제품까지 개발하였으며 국내기업이 대형화를 선도하고 있다. 대형화를 통하여 다면취 공정기술을 확보할 수 있으며 이는 바로 가격 경쟁력으로 이어지고 있다. (그림 3)

PDP 소비전력에 대한 이해

PDP에 대한 선입견 중에서 가장 큰 것이 전력소모에 관한 것이다. 이러한 편견이 생긴 정확한 이유는 알 수 없지만 아마 초창기의 대화면 PDP 텔레비전 때문일 것으로 추정된다. PDP가 처음 개발 될 당시에는 비교할 만한 대화면 TV가 없었음에도 불구하고 다른 소형 텔레비전과 비교하여 전력소모의 절대량이 많아 그러한 선입견이 생긴 것으로 판단된다. 하지만 현재에는 전력소모가 많지 않음에도 불구하고 이러한 선입견은 사라지지 않고 많은 사람들에게 남아 있다. 그림 4는 PDP를 비롯한 디스플레이 소자들의 전력 소비량을 크기에 따라 표시한 것이다.

그림에서 알 수 있는 것처럼 PDP, LCD 그리고 HDTV CRT에서 화면 크기 증가에 따라 전력소모가 같이 증가함을 알 수 있다. 그림에서 측정된 소비전력은 공중과 방송을 시청하였을 때 측정된 소비전력을 표시한 것이다. 일반적으로 LCD가 PDP 보다 전력소모가 적을 것으로 믿어지는 것과는 반대의 결과를 보여주고 있다. 이는 효율에 대한 이해에서 함정이 있기 때문이다.

대부분의 LCD나 Projection TV는 방송신호에 관계 없이 일정한 전력을 소비한다. 그러나 PDP, FED, SED

그리고 OLED와 같은 발광형 디스플레이는 방송신호에 따라 소비전력이 달라지는 특성(Power-on demand)을 보여준다. 즉 어두운 영상을 볼 때는 전력 소비량이 적고 밝은 화면을 볼 때는 전력소비량이 큰 특성을 가지고 있다. 일반적으로 공중과 방송을 시청할 때의 소비 전력은 Power-on demand를 고려할 때 평균적으로 20% 정도를 갖는다.[3]

즉 PDP는 영상신호에 따라서 소비전력이 달라지기 때문에 그림 4와 같이 실제 방송을 시청할 때 측정된 값이 가장 정확한 지표가 된다고 할 수 있다. 소비전력을 전자제품에 사용되는 효율(Efficacy)의 개념으로 설명하면 아래와 같다. 전면 필터를 제거한 상태에서 PDP 모듈을 전면 발광시킬 때의 효율(Full white luminous efficacy)을 측정하면 1.8 lm/W 정도의 값을 가진다. 필터의 투과율을 50%로 하면 효율은 0.9 lm/W로 감소한다. 이를 완전한 PDP TV set로 만들면 0.5 lm/W의 효율을 가진다. 하지만 PDP TV는 Power-on demand 특성을 갖기 때문에 LCD TV를 기준으로 한 소비전력의 20%이기 때문에 효율을 기준으로 하면 LCD의 5배인 2.5 lm/W의 효율에 해당하게 된다. 일반적으로 LCD TV의 효율이 2.5 lm/W이기 때문에 비슷한 소비전력을 갖게 된다.

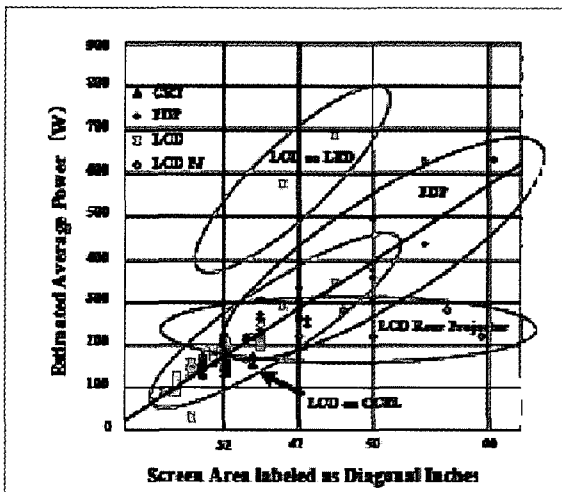


그림 4 화면 크기에 따른 텔레비전의 소비전력[3-1]
(그림에 표시된 직선의 기울기는 580W/m²m에 해당한다.)

PDP 연구 및 개발 동향

방전셀의 기본 구조

그림 5는 Fujitsu에서 개발한 3전극 면방전형 셀 구조의 개략도이다.[4] PDP 패널은 상판과 하판으로 구성되어 있으며 그 사이에 방전가스가 채워지게 된다. 상판에는 표시전극(Sustain electrode)과 주사전극(Scan electrode)이 투명 도전체인 ITO로 형성되며 전기전도도를 향상시키기 위하여 실버 페이스트로 버스전극을 형성한다. 그리고 투명 유전체를 형성한 후 이를 보호하기 위하여 MgO 보호막을 증착한다. 하판에는 우선 신호전극(Address electrode)을 형성하고 유전체로 전면면을 도포한 후 셀을 구분하기 위하여 격벽을 형성한다. 그리고 칼라를 구성하기 위하여 Red, Green, Blue 각각의 형광체를 도포하여 하판을 완성한다, 하판과

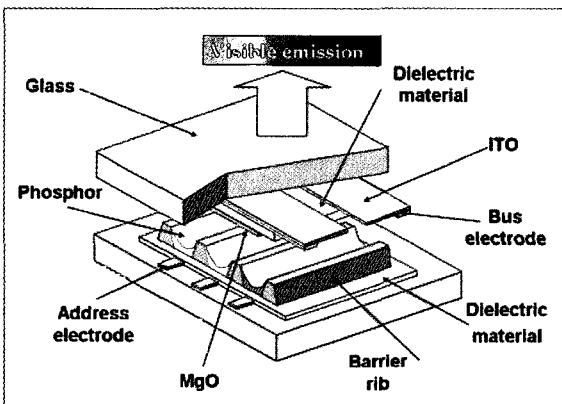


그림 5 AC PDP의 기본구조 [4]

상판을 합착 배기 한 후에 공기를 제거하여 진공을 만든 후에 방전가스를 주입한다. 방전가스는 Xe에 Ne이 나 He을 완충가스를 첨가하여 사용한다.

PDP 효율향상을 위한 연구동향

PDP의 기본개념은 매우 작은 형광등을 화소 수 만큼 형성하고 이를 점등하여 화면을 표시하는 것이다. 즉 하나하나의 방전셀은 형광등으로 비유할 수 있다. 현재 형광등은 수십 lm/W 정도의 효율을 갖는다. 따라서 지금의 방전효율을 충분히 개선할 수 있는 가능성이 있다. 현재의 발광 개념은 Xe 가스를 여기하여 나오는 진공자외선을 사용하고 있는데 Xe 가스의 비율이

10% 내외이다. Xe 가스의 비율을 증가시키면 광변환 효율은 증가한다.[5]

그러나 Xe 가스 비율이 증가하면 효율은 개선되지만 방전 전압이 상승하고 어드레싱 특성이 나빠지고 EMI 문제가 발생하는 등 다른 문제점들이 나타나고 있다. 따라서 제품 개발 측면에서는 양산성을 저해하지 않는 범위내에서 Xe 가스 비율을 조정해야 한다.

효율 개선을 위한 또 다른 시도로는 전극 간격을 증가시키는 방법이 있다.[6] 일반적으로 전극간격이 작은 경우에는 양광주(Positive Column) 영역이 사라지고 음극 글로우 영역에서 발생하는 방전만을 이용하게 된다. PDP에서는 전극 간격이 100 um 이하이기 때문에 양광주 영역이 형성되지 않는다. 하지만 전극 간격을 증가시키면 양광주 영역이 나타나고 이 영역에서는 음극 글로우에 비하여 전계가 약하기 때문에 여기 상태의 입자가 충분히 형성되어 효율을 개선할 수 있다. 처음에는 양광주 영역을 충분히 형성하기 위하여 전극 간격이 700 um에 달하는 구조가 제안되었으나[4,3] 고 화질을 구현하기 위하여는 간격이 400 um 이상이 되기는 어렵다. 따라서 다양한 전극 간격을 가진 구조에 대하여 효율 및 구동 연구가 진행되고 있다.[7] 또한 전극 사이에 보조전극을 삽입하여 구동특성 및 효율 개선을 유도한 연구 결과도 발표되고 있다.[8]

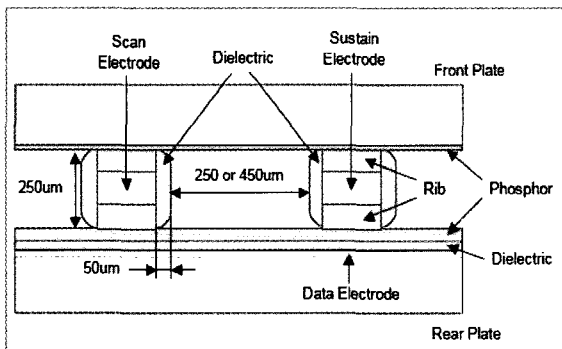


그림 6 대향형 방전을 이용한 새로운 방전셀 구조[10]

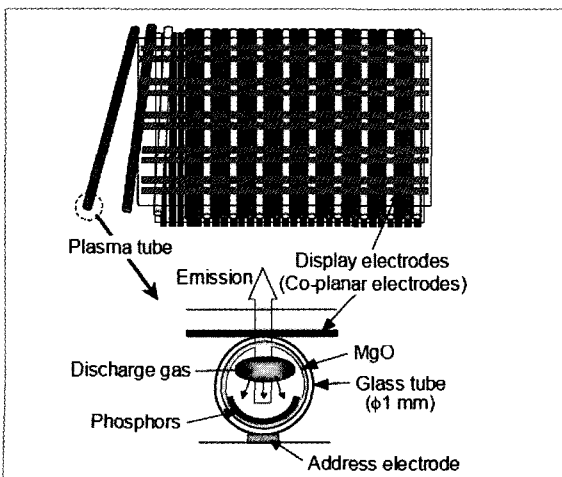


그림 7 PTA(Plasma Tube Array)의 기본구조

최근의 연구 발표에서는 효율 개선을 위하여 Xe 가스 비율과 전극 간격을 동시에 증가시키고 있다. Xe 가스 15%에서 400 um 전극 간격을 채용하여 4.5 lm/W의 효율을 발표하였다.[9] 즉 high-Xe의 효과와 Long-gap의 장점을 동시에 추구하고 있다. 하지만 이 경우에도 효율은 개선되지만 구동 특성이 매우 어려운 문제를 보이고 있다. 추후 제품에 적용하기 위해서는 리셋 및 어드레싱 특성이 개선되어야 할 것으로 사료된다.

효율 개선 및 구동 특성 향상을 도모하는 새로운 연구결과를 Noritake에서 발표하였다.[10] 그림 6에 도시된 것처럼 기존의 면방전형이 아니라 대향형 방전을 이용하고 있다. 격벽 속에 전극을 삽입하여 대향형으로 방전이 형성되기 때문에 방전전압이 감소하고 방전 효율이 높은 장점을 가지고 있다. 따라서 Xe 가스 비율이 증가하여도 방전 전압 상승이 크지 않기 때문에 구

동에도 어려움이 없다고 발표되었다. 또한 방전 형상이 양광주 모양으로 진행되어 효율이 개선되는 것으로

추정된다. 하지만 이러한 구조는 공정이 매우 복잡하기 때문에 생산성이 많이 떨어질 것으로 예상되며 제품에 적용하기에는 상당한 연구가 필요하다고 판단된다.

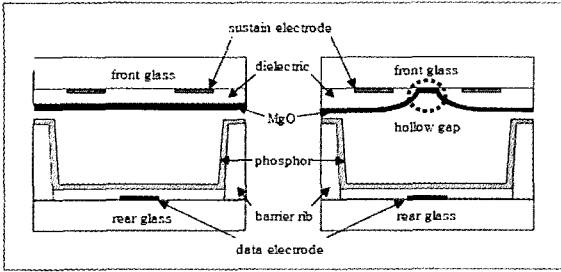


그림 8 AC PDP의 개념도 (a) 기존의 구조 (b) 유지전극 사이에 ridge구조를 형성한 구조

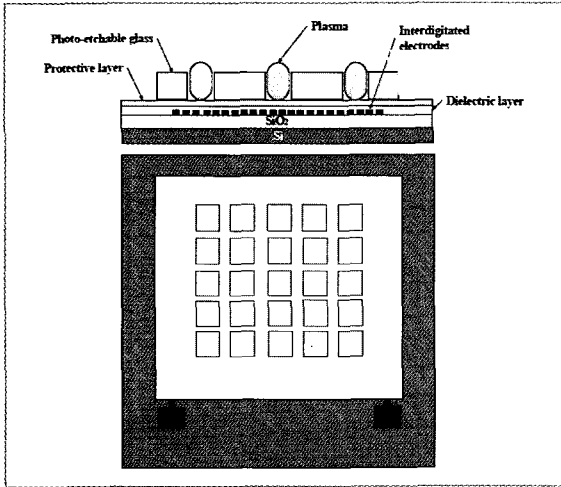


그림 9 Micro-discharge array 의 구조도

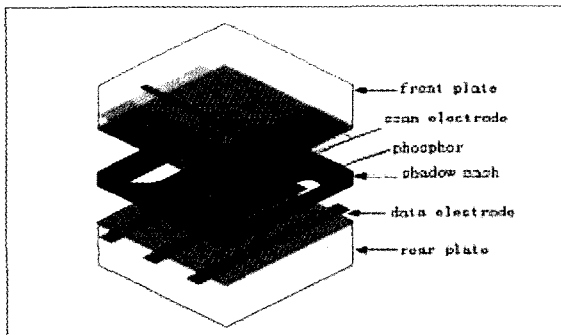


그림 10 Shadow mask를 이용한 SMPDP 단일 셀 구조

다양한 구조에 의한 연구

최근에 Fujitsu에서는 플라즈마 튜브를 사용한 초대형 플라즈마 디스플레이에 대한 연구 결과를 발표하였다. [11] 그림 7에서 볼 수 있듯이 지름 1mm, 길이 1m를 갖는 미세 튜브를 이용하여 초대형 디스플레이를 구현하는 매우 흥미로운 연구결과이다. 튜브 내부에 형광체와 MgO가 증착되어 있고 외부에 전극이 형성된다. 튜브를 사용하는 것을 제외하고는 기존의 PDP와 유사하며 미세한 유리관을 사용하기 때문에 한 방향으로의 휘어지기도 만들 수 있다. 비교적 구동이 용이하고 대면적 만들기에 적합하다. Fujitsu는 이러한 방식을 사용하여 0.5m x 1m의 시제품을 제작하여 발표하였다. 그리고 아직까지 미세한 유리관에 형광체와 MgO를 증착하는 방법을 공개하지 않아 궁금증을 불러일으키고 있다.

유지전극 사이에 계곡을 형성하여 효율을 개선하려는 연구 결과도 발표되었다. [12] 그림 8에서 알 수 있듯이 유지전극 사이에 있는 유전체를 제거하여 방전 공간에 형성되는 전기의 세기를 강하게 하여 방전 개시 전압 및 방전 유지 전압을 감소시켜 효율을 비롯한 여러 특성을 개선하였다. 따라서 이와 같은 전기 효과는 Long-gap의 적용을 용이하게 하여 쉽게 전극 간격을 확장 할 수 있다.

그림 9는 micro-discharge array를 이용한 디스플레이 방식으로 microcavity discharge를 이용한 것이다. Hollow cathode effect를 응용한 것으로 새로운 가능성으로 연구되고 있다. [13]

그림 10은 브라운관 제작에 사용되는 Shadow mask를 이용하여 PDP를 제작한 것으로 앞의 micro-discharge와 함께 대면에서 발표된 결과이다. 격벽 대신 Shadow mask를 이용하여 제조를 쉽게 하려는 시도로서 25인치 제품을 개발하여 발표하였다. [14]

PDP 제품 개발 동향

현시점에서 PDP 제조회사의 가장 중요한 부분은 가격 경쟁력이다. PDP 텔레비전의 보급이 급격히 늘어나는 것과 같이하여 가격 경쟁력을 가질 때 시장이 급속히 확장되기 때문이다. 따라서 제품생산 경비를 절

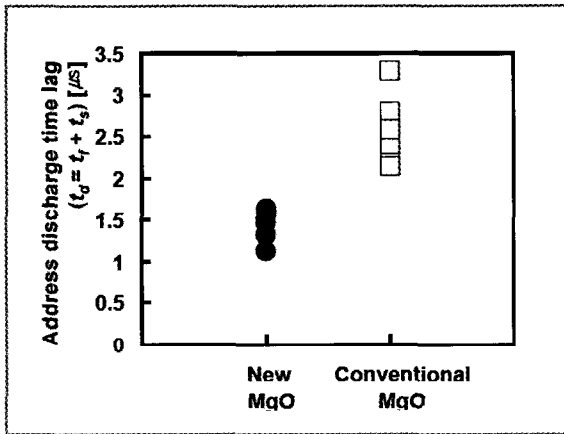


그림 11 MgO의 종류에 따른 어드레스 방전 지연시간 특성

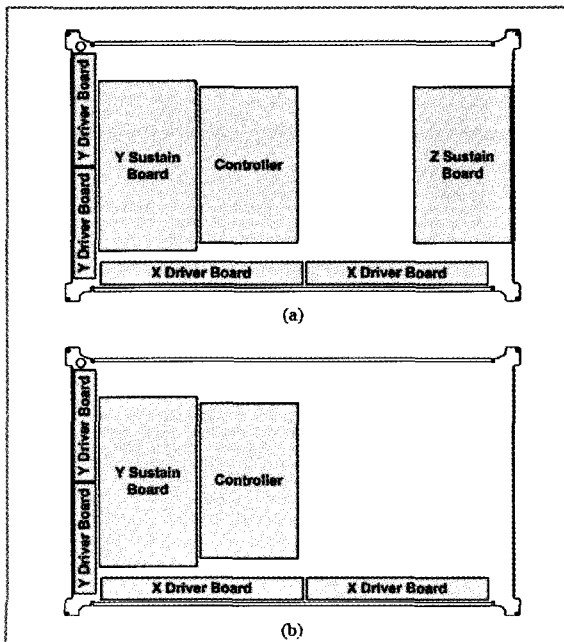


그림 12 구동회로부 개면도 (a) 기존구조 (b) 서스테인 보드 하나를 제거한 구조

감하기 위한 연구 개발이 활발하게 추진되었다. 그 중에서 가장 대표적인 부분이 싱글 스캔 방식에 의한 구동 기술이다. 고속 어드레싱 기술이 확립되기 전에는 dual scan 방식을 사용하였기 때문에 어드레스 드라이버가 패널의 윗쪽과 아랫쪽에 위치시켜 패널을 절반씩 분담하여 구동하였다. 하지만 지금은 고속 구동기술이 발달하여 어드레스 드라이버가 한쪽에만 배치되는 싱글 스캔 방식을 사용하여 경비를 많이 절감하고 있다. 싱글 스캔이 가능하도록 한 기술에는 구동 파형의 최적화 뿐만 아니라 보호막으로 사용되는 MgO의 특성 개선 크게 기여하였다.[15] MgO 증착시에 defect level을 감소시킴으로써 고속구동이 가능한 특성을 얻을 수 있었다. 그림 11에서 알 수 있는 것처럼 방전 형성 지연시간 뿐만 아니라 통계적 방전지연시간도 현저히 감소하였음을 알 수 있다.

회로 부품 수 감소를 통한 또 다른 방법으로 서스테인 보드 하나를 제거하는 방법이 있다.[16] 그림 12는 기존 보드와 서스테인 보드 하나를 제거하였을 때의 모습을 각각 도시한 것이다. 유지방전 보드를 하나 제거함으로써 비용을 절감할 수 있다. 이때에는 기존과는 다른 파형을 사용해야 하며 이를 위하여 최적화된 파형을 그림 13에 도시하였다. 그림에서 Z 전극에는 아무런 파형이 인가되지 않음을 알 수 있다. 하지만 그림의 파형에서 예상할 수 있는 것처럼 어드레스 전극에 서스테인과 같은 주파수로 전압이 인가되고 있기 때문에 어드레스 드라이버에 과중한 부하가 걸리게 되는 단점이 발생하게 된다. 따라서 이에 대한 대책이 수반되어야 한다.

이외에도 가격 절감을 위한 많은 방법이 적용되고 있다. 전극을 형성하기 위한 ITO 패터닝을 레이저를 이용한 다이렉트 패터닝 기술로 적용한 방법이 생산라인에 적용되고 있다. 포토마스크 없이 레이저를 사용하여 직접 전극 형상과 같이 모양을 만드는 방법이다. 이와 같은 방법을 사용하면 포토작업 및 식각 작업이 필요 없기 때문에 생산성을 향상시킬 수가 있다. 그리고 전극 물질로 처음부터 ITO를 쓰지 않고 버스 전극만을 사용하는 방법, 유전체 물질을 그린 스위트를 사용하여 형성하는 방법 등 다양한 방법들이 가격 절감을

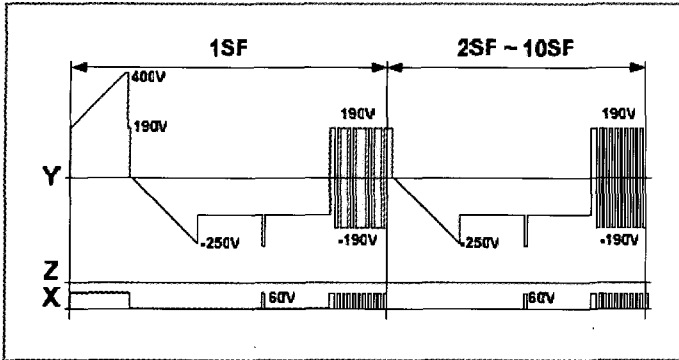


그림 13 서스테인 보드 하나를 제거한 경우의 최적화된 파형

위하여 적용되고 있다.

다면취 공정은 대화면 생산 기술과 결부되어 4면취에서 8면취까지 적용될 것으로 기대된다. 앞으로 설치되는 생산라인에서는 다면취 공정이 일반화되어 대량생산이 더욱 촉진되어 생산량이 크게 늘어나게 된다.

전면 필터의 경우에도 가격이 대폭 내렸음에도 불구하고 필름타입의 필터를 도입하여 가격 뿐만 아니라 무게를 감소시켜 벽걸이 타입으로서의 기능을 강화시키고 있다. 패널을 구성하는 유리판도 기존의 고용점 유리를 대체하는 저용점 유리의 적용이 검토되고 있다, 공정 온도를 낮추는 연구와 더불어 저용점 유리가 적용되면 가격 경쟁력을 많이 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

PDP의 장점과 단점

“PDP TV를 구입할까? 아니면 LCD TV를 사야 하나?”

위의 말은 PDP 연구에 종사하는 저자에게 사람들이 가장 많이 물어보는 질문이다. 이 질문에 대한 현답은 불가능할 것이다. 다만 두 종류의 디스플레이의 특성 및 장단점을 비교 설명하여 선택에 도움을 주고자 한다.

PDP TV의 장점으로 일반적으로 알려진 것으로는 넓은 시야각, 대화면이면서 양질의 균일성을 갖는 것, 자장과 주변 온도에 강하며 Full color 구현이 용이, 그리고 장수명이며 고해상도를 갖는 것 등으로 알려져

있다. 하지만 이러한 특성은 다른 평판 디스플레이 특히 LCD TV도 거의 비슷한 성능을 갖기 때문에 특별한 장점을 갖는다고 할 수 없다. 얼마 전만 해도 다른 방식으로는 대화면 구성이 어렵다고 예상되었으나 LCD 기술의 비약적인 발전으로 대화면 LCD 텔레비전이 일반화되고 있다.

대화면 표시소자로서 다른 방식과 비교하여 PDP가 갖는 가장 큰 장점은 저계조 표현능력이다. 어두운 화상을 표시할 때는 밝기의 차이가 적기 때문에 미세하

게 계조를 분할하여 표시하여야 사람의 눈이 선명하게 인식할 수 있다. PDP의 방전 특성상 black image는 거의 완벽하게 표현 할 수 있다. 그리고 저계조에서 미세하게 계조를 분할하면 어두운 부분을 무리 없이 표현할 수 있다. 이는 휘도비(Contrast Ratio)의 구현 능력과도 밀접하게 연관되어 있다. 하지만 LCD에서는 백라이트에서 나오는 빛을 액정 필터로 완벽하게 차단할 수 없기 때문에 저계조에서의 표현 능력이 떨어지게 된다. PDP에서도 저계조 표현력은 완벽하지는 않기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다.[17]

다른 장점으로서는 PDP의 실장감과 칼라 구현 능력이다. PDP는 발광형 소자(Emissive Display)로서 자연색에 가까운 칼라를 구현하기 때문에 실제와 같은 느낌을 줄 수 있다. 이는 CRT TV와 유사한 특성으로서 투과형 디스플레이와는 다른 특성이다. 다이내믹한 스포츠 경기나 수려한 영상미를 표현하는 디스플레이로서 적절한 특성을 갖고 있다.

이에 반하여 PDP TV의 단점을 말한다면 image sticking과 load effect가 있다. Image sticking은 여러 형태로 영상의 흔적이 남는 현상으로 정확한 원인은 아직 밝혀지지 않고 있다. 실제 제품에서는 거의 보이지 않지만 해결해야 할 과제이다. 그리고 부하에 따라 밝기가 변하는 load effect도 해결해야 하는 중요한 문제이다. 현재 이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 연구가 진행되고 있으며 많은 개선이 이루어지고 있다. [18]

맺 음 말

[참고문헌]

1995년 PDP 연구 개발이 본격적으로 시작된지 약 10년이 지났다. 초창기 개발 사업의 기획에 참여하였던 저자로서는 현재의 PDP 사업성장에 경이로움을 금할 수가 없다. 초창기 PDP에 대한 기반 연구가 매우 부족한 상황에서 정부, 기업, 연구소 그리고 대학이 모두 모여 공동의 목표를 설정하고 10년을 성실하게 달려온 결과 오늘의 성과를 얻을 수 있었다고 생각된다. 대학에서는 기초연구를 비롯하여 적지 않은 고급 인력을 배출하여 PDP 사업을 지원하였고 기업은 제품 개발을 위하여 총력전을 전개하였고 적기의 투자를 통하여 사업을 확대하였다. 최근 LCD TV의 대형 디스플레이 사업 진출로 인한 PDP 사업의 위기 의식도 있었지만 PDP 기술의 비약적인 발전과 가격 경쟁력 향상으로 대형 디스플레이 분야에서 독점적인 지위를 확보하였다.

현재 PDP 사업에서 가장 중요한 사항은 가격 경쟁력이다. 시장 선점을 통한 사업 확장이 절실한 시점이기 때문이다. 하지만 이에 못지 않게 연구 및 개발에 재투자 하는 것도 중요하다. 최근 기업에 의한 연구 개발 투자도 같이 증가하고 있다. 그러나 기업의 특성상 단기적이고 가시적인 연구 개발에 지원이 집중될 수밖에 없다. PDP 시장은 현 단계가 겨우 형성기라고 판단된다. 현재의 수준보다 한 단계 올라선 제품이 개발될 때 그 수요는 기하급수적으로 증가할 것으로 사료된다. 단기적 투자보다는 근본적이고도 미래 지향적인 연구 개발이 필요한 시점이다. 현재의 성장에 만족하지 말고 미래를 위한 투자를 아끼지 말아야 할 단계가 되었다고 생각된다.

- [1] Gray et al, Bell Sys. Tech. J., Vol.6, p.560, 1927]
- [2] D. L. Bitzer and H. G. Slottow, IEEE Trans. Electron Device, Vol.ED-23, p.760, 1976.]
- [3] Larry F. Weber, The Race for TVs with Higher Luminous Efficacy, IMID 2005 Digest, p.3-10
- [4], Bhum Jae Shin, IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.52, No.1, p.17, 2005].
- [5] G. Oversluiszen, Asia Display/IMID 2004 Digest, p.55]
- [6] Larry F. Weber, United States Patent 6184848B1, 2001]
- [7] Jae Young Kim, IDW 2004 , p.871]
- [8] Kyo Sung Lee, IMID 05 Digest, p.175]
- [9] B. Cho, SID 05 Digest, p.1138
- [10] H. Asai, SID 05 Digest, p.210
- [11] Kenji Awamoto, SID 05 Digest, p.206
- [12] S. Son, SID 05 Digest, p.218
- [13] [4-3-3, S. Kim, SID 05 Digest, p.1029]
- [14] Ke Wu, IMID 05 Digest, p.81]
- [15] Jae-Sung Kim, IMID 05 Digest, p.71
- [16] S.Kang, IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.51, No.1, Feb. 2005
- [17] K. Park, IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.51, No.1, Feb. 2005
- [18] S. Kim, IMID 05 Digest, p.259]