PDP 공정 기술 및 최근 동향

문 철 희

PDP란 '플라즈마 디스플레이 패널'의 약어로서 두 장의 유리 기판 사이에 플라즈마를 형성시켜서 빛으로 변환시키 는 디지털 디스플레이 장치이다. PDP는 1964년에 미국 일 리노이 대학교에서 최초로 교류형 전극 구조를 제안하였으 며, 1990년대에 일본 후지쯔에서 3전극 면방전 구조의 PDP를 개발한 이후에 급격히 실용화되어 최근에는 가장 대 표적인 대면적 평판 디스플레이로 발돋움하였다. 그림 1은 여러 전자 디스플레이의 종류를 구분한 것으로서 PDP는 모 니터/TV 영역에서 40인치 이상의 대면적 디스플레이가 주 된 시장임을 알 수 있다. 이와 같이 PDP가 대면적 디스플레 이에 유리한 특성을 가지는 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다. 첫째, 발광원리 측면에서 PDP는 각각의 셀 내부에서 미소 플라즈마 방전을 일으키는 방식으로서 셀의 개수가 늘 어나더라도 전체적인 특성의 균일도가 확보된다는 점을 들 수 있다. 둘째, PDP는 플라즈마 방전에 필요한 공간을 확보 하기 위하여 셀 내부의 단면적을 크게 형성해야 하므로 이 와 관련된 셀 구성요소의 두께도 마이크로미터 이상의 두께 로 구성되므로 대면적에서 균일도를 확보하기에 유리하다. PDP 제조에 필요한 공정기술을 타 디스플레이와 비교해 보 면, LCD, OLED에서 주로 사용하는 박막공정기술과 CRT, VFD에서 주로 사용하는 후막공정기술을 모두 필요로 한다 고 볼 수 있다. 그러면 상세한 PDP 공정기술에 대하여 살펴 보기 이전에 PDP의 발광원리 및 구조에 대하여 우선 살펴 보도록 하자.

그림 2는 PDP의 발광원리를 나타낸 것이다. 상판 유리와 하판 유리에 각각 전극이 형성되어 있으며 이들 전극에 플라즈마 방전에 필요한 전압차가 주어지면 전극 간에서 플라즈마가 형성되어 진공자외선(vacuum ultra violet)이 발생하고이들이 형광체를 여기하여 눈에 보이는 가시광선을 방출하게된다.

저자약력

8

문철회 교수는 서울대학교 금속공학과 박사(1992)로서 미국 위스콘 신 대학교 초청연구원(1995-1996)을 거쳐, 삼성SDI PDP본부에서 근무 (1996-2004)한 후, 현재 호서대학교 디스플레이 공학부 교수(2005~현 재)로 재직 중이다. 그림 3은 기본적인 PDP의 구조를 나타낸 것이다. 일반적으로 두께가 1.8~2.8 mm 정도인 투명 유리 기판이 전면 유리 기판(front glass plate) 및 배면 유리 기판(rear glass plate)으로 사용되어진다. 이는 LCD나 OLED에 사용하는 유리 기판에 비하여 상당히 두꺼운 유리 기판인데 이와 같이두꺼운 유리를 사용하는 이유는 PDP 공정은 페이스트를 사용하는 후막 공정이 포함되므로 이를 소결하기 위하여 500~600 °C의 높은 온도에서 열처리하기 때문이다. 전면유리 기판 및 배면 유리 기판에는 유지 전극과 어드레스 전극이 각각 형성되어 있고, 이들 전극의 표면에는 유전체가코팅되어 있어 유전 장벽 글로우 방전을 유도한다. 배면 유

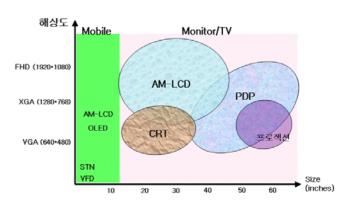


그림 1. 여러 종류의 전자 디스플레이.

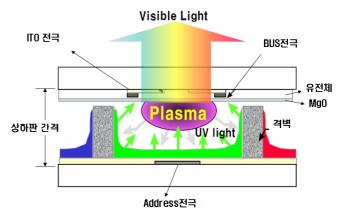


그림 2. PDP의 발광원리.

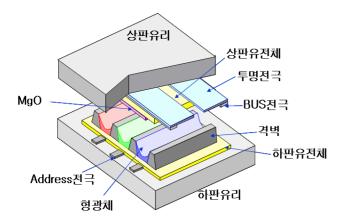


그림 3. PDP의 기본 구조.



그림 4. PDP 제조공정 도식도.

리 기판 상부에는 격벽과 형광막이 형성되어 화소를 구성하고 있다. 전면 유리 기판 유전층의 표면에는 MgO 보호막이 형성되어 유전층을 글로우 방전의 양이온으로부터 스퍼터링되는 것을 방지할 뿐 아니라 2차 전자를 방출하여 방전 전압을 낮추고 PDP의 방전 효율을 높이는 역할을 한다. 여기서 각 구성요소들의 두께를 살펴보면 ITO와 MgO는 각각 1,000 Å과 7,000 Å으로서 두께가 1 μ m 이하이므로 박막 중착공법으로 제작하며, BUS 전극과 address 전극은 두께가 5~10 μ m이므로 페이스트를 이용한 후막 공법으로 제작한다. 그리고 격벽의 경우에는 두께가 100~150 μ m으로 상당히 두꺼우므로 두께를 확보하고 격벽 형태로 식각하는 데에는 특별한 기술들이 요구되어진다. 그러면 본격적으로 이와 같은 PDP의 각 구성요소들을 제작하는 기술에 대하여 살펴보도록 하자.

그림 4는 PDP 제조공정의 전체 프로세스를 나타낸 것이다. 상판과 하판을 각각 제작한 후에는 이를 조립하여 모듈화하는 공정으로 진행한다. 각각에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

상판 공정

상판은 가시광선이 투과되어 우리 눈에 전달되는 쪽이므로 상판을 구성하는 구성요소들은 투과율이 높은 재료로 구성되 어야 한다. PDP에 사용되는 유리는 고온에서 열변형이 적은 고왜점 유리(high strain point glass)를 사용하며 일본 아사 히사의 제품인 PD-200을 사용하는 회사가 대부분이다. 상판 유리 위에는 스퍼터링법으로 투명 전도층인 ITO(인듐, 주석 산화물)를 코팅하는 것이 일반적이다. 일반적으로 전기전도도 가 좋은 물질은 불투명한 특성을 가지고 있는데 비하여 ITO 는 투명한 특성을 가지고 있으면서도 전기 전도 특성이 양호 하므로 대부분의 전자 디스플레이는 ITO전극을 사용하고 있 다.(이와 같은 특성으로 인하여 ITO 전극을 투명전극이라고 명하는 경우가 많다.) ITO 코팅막을 식각하여 필요한 형태의 전극으로 만드는 방법은 일반적인 포토리소그래피 공정을 이 용한다. 포토리소그래피란 빛을 받으면 구조가 변하는 감광성 물질을 이용하여 미세한 패턴을 형성하는 방법으로서 PDP의 경우에는 DFR이라는 필름 형태의 감광성 물질을 마스크로 사용하여 산으로 화학적 식각하는 방법을 사용한다. ITO 전 극을 형성한 이후에는 BUS 전극을 형성한다. BUS전극은 전 기 신호를 단시간에 전체 전극 라인에 공급하기 위한 목적을 가지므로 전기 전도도가 아주 좋은 은(Ag)을 사용하는 것이 일반적이다. BUS 전극을 제작하는 방법으로는 후막공정을 사용한다. 후막 공정에서 가장 기본이 되는 것은 페이스트 (paste)라고 부르는 재료이다. 페이스트란 우리가 필요로 하 는 금속 혹은 세라믹 분말을 용제와 바인더에 혼합하여 치약 과 같은 상태로 만든 것으로서 이를 인쇄 등의 방법으로 유 리 기판 위에 고르게 도포하게 된다. 도포막은 80~120 °C에 서 건조하여 용제를 증발시키며 건조막 상태에서 포토리소그 래피 공정을 이용하여 원하는 전극 형상으로 식각하고 이어 서 500~600 °C로 소성하여 바인더를 태우고 막을 치밀하게 고착시킨다.

BUS전극을 형성한 이후에는 블랙스트라이프를 형성하는데 이는 PDP 패널의 명암비를 높여주기 위하여 BUS전극 사이의 비발광 영역에 흑화도가 높은 재료를 채워 넣어주는 공정이다. 블랙스트라이프는 선폭이 수백 미크론인 형태의 것으로원하는 형태의 패턴이 형성되어 있는 인쇄 마스크를 사용하여 인쇄하는 방법을 사용하거나 포토리소그래피 방법을 사용하여 형성한다. 블랙스트라이프 이후에는 투명유전층을 코팅하게 된다. 투명유전층의 역할은 표면에 벽전하를 형성하고 BUS전극을 보호하는 역할 등을 수행하므로 투명유전층의 내부 구조는 치밀하고 기포, 이물 등이 없어야 하며 두께가 30~60 μm인 것을 필요로 한다. 따라서 투명유전층을 형성하

는 방법으로는 인쇄를 여러 번 반복하거나 슬릿코터를 이용하여 한 번에 코팅하는 방법 등을 사용하는데 기포와 이물이 없는 막을 만들기 위해서는 페이스트의 제조 및 관리에서부터 시작하여 공정의 클린도 유지가 중요하며 또한 열처리 온도 및 시간을 적절하게 설정하여 기포의 크기를 관리하는 것도 중요한 항목이 된다. 마지막으로 MgO 보호막을 코팅하게되는데 MgO막을 코팅하는 방법으로는 진공 중착법을 사용한다. 이는 MgO 소스의 표면을 가속 전자로 가열하여 증발시키는 방법으로서 MgO 막두께를 균일하게 형성하고 성분비를일정하게 유지하기 위해서는 챔버 내부의 구조를 적절하게설계하는 것이 중요하다. 중착된 MgO막은 수분을 흡수하는성질이 있으므로 가능하면 바로 하판과 조립해야 하며 부득이하게 클린룸 내에서 방치해야 하는 경우에는 습기가 제거된 환경에서 보관해야 한다.

하판 공정

하판 공정에서 address 전극과 하판 유전체를 형성하는 공정은 상판에서 BUS전극과 투명 유전체를 형성하는 공정 과 대동소이하다. 이후에는 격벽을 형성하게 되는데 격벽은 PDP 제조 프로세스에 있어서 가장 공정이 복잡하고 오랜 시간을 소요하는 공정으로서 제작 방법에 있어서도 회사마 다 서로 다른 방법을 사용하고 있다. 최초에 사용되었던 방 법은 직접 인쇄방식으로서 인쇄마스크를 이용하여 원하는 두께인 100~150 μm 두께가 얻어지도록 여러 번 반복하여 인쇄하는 방법을 사용했다. 이후에 고압의 샌드 파우더를 이 용하여 물리적으로 식각하는 방식인 샌드 블라스팅 공법, 화 학적으로 식각하는 화학적 에칭 공법, 감광성 격벽 페이스트 를 이용하는 공법 등을 사용해 왔다. PDP에서 사용하는 격 벽은 높이가 100~150 μm로 상당히 높지만 미세한 셀피치 를 위해서는 폭을 50~100 μm 이내로 제작해야 하므로 난 이도가 높은 공정으로 볼 수 있다. 이후에는 R, G, B 형광 체를 순서대로 격벽 사이의 공간에 도포하는데 과거에는 인 쇄방식을 주로 사용해 왔으나 최근에는 미세한 노즐을 이용 하는 디스펜서 방식 등을 생산에 적용하고 있다. 형광체를 형성한 이후에는 상판과 하판을 결합하기 위한 실링 프릿 재료를 노즐을 이용하여 하판의 외곽 부위에 라인 형태로 도포하다.

모듈 공정

모듈 공정이란 앞에서 제작한 상판과 하판을 결합하여 독립된 패널의 형태로 만드는 공정이다. PDP는 내부에 방 전가스를 채워 넣어서 플라즈마 방전을 일으키는 원리를 사용하므로 상판과 하판을 결합하는 실링 공정은 완벽한 실링을 보장할 수 있도록 400~500 °C의 고온에서 실링 프릿 재료를 소결하는 방식을 사용한다. 이때 배기관도 동일한 실링 프릿 재료를 이용하여 고정시킨다. 이후에는 내부의 불순가스를 용이하게 제거할 수 있도록 고온에서 가열배기하며 배기가 완료된 이후에는 배기관을 토치로 가열하여 밀봉한다. 이와 같이 제작된 PDP 패널은 에이징을 통하여 전기적인 특성을 안정화하며 점등검사를 통하여 특성검사를 마치고 나서 양품인 패널에 한하여 회로부품과 결합하여 제품화한다.

PDP 공정의 기술개발 현황 및 미래

지금까지 기본적인 PDP공정에 대하여 살펴보았는데 PDP 공정은 품질과 가격 경쟁력의 개선을 위하여 많은 변화를 거듭해 왔다. PDP 제조공정의 변경은 구조 변경, 재료 변경, 공법 변경, 설비 변경 등의 여러 가지 방향으로 꾸준히 개선이 이루어져 왔으며, 앞으로도 지속적인 변화가 예상된다. PDP 공정에 있어서 기술개발항목은 PDP 제품에서 중요한 특성 항목인 대면적화, 저가격화, 고정세화, 품위향상의 네 가지로 구분하여 살펴볼 수 있다. 이들 각각에 대하여 최근의 개발 동향 및 이슈사항에 대하여 살펴보고 앞으로의 변화를 예측해보도록 하자.

1. 대면적화

PDP는 1990년대에 40인치 이상의 대면적 제품을 가장 먼 저 상용화한 디스플레이 디바이스로서 대면적화 기술에 있어 서는 다른 디스플레이 디바이스에 비하여 선구자적인 역할을 해 오고 있다. 대면적 글래스 기판에 대하여 균일한 두께로 코팅하고 노광하며 균일하게 식각하고 열처리하는 기술 등이 확립되었기에 이와 같은 대면적 디스플레이 제품의 생산이 가능하게 된 것이다. 최근의 PDP 제조공정은 그림 5에서 보 듯이 6~8매의 패널을 동시에 제작하는 다면취 공정을 사용하 고 있는데, 이에 필요한 기판의 크기는 2 m가 넘으므로 이와 같은 대면적 기판에서 공정의 균일도를 유지하는 것이 핵심 포인트이다. 여기에는 코팅 막두께의 균일도, 선폭의 균일도 등을 확보하는 기술과 대면적 결함 검사 기술 등이 포함된다. 대면적화에 따르는 또 다른 핵심기술은 대면적 기판을 처리 할 수 있는 설비의 제작 능력이다. 특히 설비 스테이지의 평 탄도 확보 및 직진도의 정밀도 확보 등은 설비가 대형화할수 록 더욱 고난이도의 기술을 필요로 한다. 이 밖에도 관련된

10

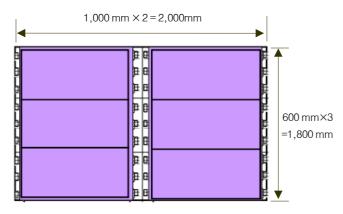


그림 5. PDP 42인치 6면취 패널의 도식도.

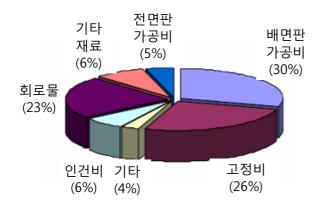


그림 6. 42" XGA 패널의 가격구조 (01년 SRI자료).

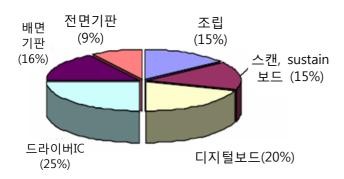


그림 7. PDP 제품에서 재료비의 구성 (03년 SID자료).

부자재(인쇄 마스크, 노광 마스크 등) 및 부품 등도 같이 대형 화해야 하므로 이와 관련된 기술이 중요하며, 다면취 패널을 1매씩으로 절단해 주는 글래스 컷팅 기술도 중요한 항목이 된다.

2. 저가격화

PDP 제품의 판매가격은 3~4년 전의 인치당 \$100 수준에서 현재는 \$30~40까지 도달하였다고 볼 수 있지만, 시장 확

대를 위해서는 앞으로도 지속적인 판매가격 인하가 예상된다.

그림 6은 42" XGA 패널의 가격 구조(모듈가격)를 나타낸 것으로 전체 가격에서 차지하는 비중은 고정비 26%와 인건비 6%를 제외하고는 재료비 및 패널 가공비 등이 차지하고 있음을 알 수 있다.

그림 7은 PDP 제품에서 재료비의 구성을 살펴본 것으로, 이를 부품 별로 나누어 분석해 보면, 패널부는 상판 9%, 하 판 16%, 회로부는 x,y 보드 15%, 구동 IC 25%, 영상 보드 20%, Assembly 15%로서, 전체 재료비에 대하여 차지하는 비중은 패널부(25%), Assembly(15%)에 비하여 회로부(60%) 가 가장 높은 비중을 차지하고 있다. PDP 제조원가를 낮추기 위하여 가능한 방법들 중에서 공법개선을 통하여 가격을 낮 출 수 있는 방법으로는 다음과 같은 것들을 들 수 있다. 첫째 로는 공정의 단순화이다. 격벽을 도포하기 위하여 여러 번의 인쇄 공정을 반복하던 것을 한 번에 슬릿 코팅하는 방식으로 바꾼 것이 가장 대표적인 예이다. 또한 소성횟수를 줄이기 위 하여 하판 어드레스 전극과 유전체를 동시에 소성하는 방법, 유전체와 격벽을 동시에 소성하는 방법, 건조를 생략하고 소 성로 내에서 건조 및 소성을 차례로 진행하는 방법 등도 좋 은 예이다. 두 번째로는 원부자재를 줄이는 공정이다. 최근에 개발된 레이저 노광 방식의 경우 기존에 필요로 하던 노광 마스크가 필요 없는 공정으로서 공정비용을 저감하는 목적으 로 개발된 가장 대표적인 예이다. 세 번째로는 재료의 소모량 을 줄이는 공법을 들 수 있다. 가장 대표적인 예는 형광체 디 스펜서로서 기존의 인쇄방식에서는 인쇄 마스크 상에서 버려 지던 재료의 불필요한 소모를 없앤 새로운 방식으로 워가 절 감에 기여한다. 네 번째는 공정의 합리화이다. 예를 들어 과 거에는 소성 시간을 10시간으로 하였던 것을 5시간으로 단축 하는 등의 활동이 대표적이다.

3. 고정세화

PDP TV로 해상도를 더욱 높이기 위해서, 혹은 PDP로서 TV 이외의 새로운 용도를 개최하기 위해서는 현재보다 고정세의 셀을 제작할 수 있는 기술의 개발이 중요하다. 고해상도 화면 제작 시에는 화상의 표현을 보다 섬세하게 할 수 있으며 선명한 영상을 감상할 수 있다. 셀 피치 고정세화의 목표는 여러 가지가 있겠지만 현재 50인치 Full HD (1920×1080) 제품까지는 판매되고 있으므로, 42인치에서 Full HD를 실현하는 것을 차기 목표로 하는 것이 타당하다. 이 정도의 고정세 제품이라면 최소한 TV 용도에 있어서는 충분한 고정세 대응력을 가지게 되었다고 이야기할 수 있게 된다. 이경우 0.16 mm 이하의 셀 피치가 필요하게 되는데 이와 같

표 1. PDP 고정세화를 위한 핵심과제.

분류	핵심 과제	주요 기술
셀 가공기술	격벽 미세가공기술	-노광, 현상, 식각 공정에서 재료 및 공법을 개선
셀 설계기술	전극 및 격벽구조 설계	-작은 셀에서 안정적인 방전이 가능 하도록 설계
방전특성개선	방전가스, 구동파형	최적화
고정세 실장기술	어드레스 전극 실장기술	-고정세 피치에서의 안정적인 실장 기술 확보

표 2. PDP 품위향상을 위한 핵심과제.

핵심 과제	주요 기술		
	-설계관점: 셀구조 최적화, 방전가스 및 구동파형 최적화		
발광효율 개선	-재료관점: 유전체 투과율, 형광체 발광효율		
	-막특성개선: 발광향상층 및 열확산층 도입, 보호막 개선		
명실 컨트라스트	-재료의 흑색도 개선, 블랙 스트라이프 설계 개선		

은 고정세 패널을 안정적으로 생산하기 위하여 해결해야 하는 핵심 과제와 주요 기술들을 표 1에 정리하였다. PDP업계에서는 오래 전부터 이러한 관점에서 활발한 개선활동 및 연구개발을 수행해왔으므로 조만간 42인치 Full HD PDP가 본격적으로 생산될 수 있으리라 기대한다.

4. 품위향상

PDP에서는 발광효율 개선, 컨트라스트 개선 등이 가장 중요한 항목이며, 2000년 이전에 비하여 최근의 PDP는 발광효율과 컨트라스트가 크게 개선되었다. 발광효율의 개선 측면에서는 격벽 및 ITO 전극 구조변경, 재료의 투과율 향상, 재료의 발광효율 향상, 재료의 전기적 특성 변경 등이 크게 기여하였다. 2005년 말에는 Pioneer사에서 발광 향상층을 사용한 패널의 발광효율 개선결과를 발표하여 주목받고 있으며, 다른 PDP 제조회사들에서도 이와 유사한 방법으로 패널의 발광효율 향상에 주력하고 있다. 컨트라스트 개선에는 재료의 흑색도 개선 등이 크게 기여하였다. 앞으로도 발광효

참고문헌

12

- [1] 전략기술경영연구원, LCD, PDP, OLED Materials & Components Market Forecast (2005).
- [2] 御子紫茂生, "プラズマディスプレイ最新技術", EDリサーチ社 (1996).
- [3] 岩井善弘 外, "液晶, PDP, 有機EL 徹底比較", 工業調査會 (2004).
- [4] K.S. Lee, PDP TV market and competency", IMID/IDMC'06 Business Forum, pp. 71–84 (2006).
- [5] Kenny Kim, "Global TV Market Perspective", IMID/IDMC'06 Business Forum, pp. 133–150 (2006).
- [6] 차세대 PDP 신기술 워크샵 '05 발표자료집, 한국정보디스플레이학 회 PDP연구회 (2005).

율과 컨트라스트는 PDP 업계에서 가장 중요한 기술개발 목표가 될 것이며, 이와관련한 핵심과제 및 기술개발항목들을 표 2에 언급하였다.

5. 신공법

PDP 공정기술은 앞으로도 계속 혁신적인 새로운 공법을 통하여 품질 및 가격 경쟁력을 높이는 데 기여할 것이다. 활발히 개발되고 있는 신공법 중에서 몇 가지 예를 들면 다음과 같다. 첫째로 격벽 모울드 공법을 들 수

있다. 격벽 공정은 PDP 제조 공정 중에서 가장 시간이 오래 걸리고 복잡한 공정으로서 제조 원가 측면에서도 높은 비중 을 차지하고 있다. 최근에 여러 회사에서 개발 중인 격벽 모 울드 공법은 플라스틱 모울드를 이용하여 간단히 격벽을 형 성하는 방법으로서 공정 시간을 크게 단축하고 제조비용을 저감하는 효과가 있다. 둘째로 잉크젯 공법을 들 수 있다. 이 는 PDP 이외에도 LCD, OLED 등에서도 큰 기대를 가지고 활발히 개발 중인 공법으로서 PDP 전극, 형광체 등을 형성 함에 있어서 공정을 단순화하는 효과가 있다. 셋째로는 레이 저를 이용한 공법을 들 수 있다. 레이저는 우수한 직진성으 로 인하여 고정세의 패턴을 안정적으로 형성할 수 있는 장점 이 있으므로 PDP 공정에서는 이미 타이틀러(패턴의 고유 번 호를 입력하는 장치), 노광마스크 제작 등에 활발히 사용하고 있다. 또한 최근에는 노광 마스크가 필요 없는 직접 노광 장 치에도 활용되고 있으며 조만간 ITO 막을 식각하는 공정에 있어서도 현재의 포토리소그래피 공정을 대체할 것으로 기대 되어지고 있다. 넷째로는 최근 유비쿼터스 문화의 확산으로 플렉시블 및 모바일 디스플레이의 수요가 크게 늘어남에 따 라서 PDP도 이에 대응할 수 있는 제품을 만들기 위한 여러 가지 공정 기술들이 개발되고 있다. 실리콘 박막을 식각하여 미소 플라즈마를 형성한다든지, 플라스틱 기판에 PDP를 형 성한다든지 하는 새로운 기술들이 활발히 발표되어지고 있 다. 이 밖에도 보다 많은 혁신적인 제조공법이 개발되어 PDP 제품의 가격을 낮추고 품질을 높일 수 있도록 큰 기여 를 할 것으로 기대된다.