

眞空管(또는 전자관)의 興亡盛衰와 最近의 動向

조 규 심

(*동아엔지니어링 주식회사 기술고문 · 공박 · 기술사(전기통신))

1. 처음에

3극진공관(3極眞空管)은 금년으로부터 꼭 90년전인 1906년에 프랑스의 de Forest(드 포레)에 의해 발명되었다. 3극관은 주지하는 바와같이 음극(陰極), 격자(格子), 양극(陽極)의 3개의 전극(電極)으로 구성된 진공관이다. 보통, 격자는 음극에 대해서 부전위(負電位)로 하여 사용되며, 격자전류는 거의 0(zero)이다. 격자전압의 미소(微小)한 변화로 양극전류가 크게 변한다는 증폭작용을 가지고 있는 이 진공관은 증폭기 또는 발진기로 사용된다. 또 금년은 전자의 비전하(比電荷)가 e/m 이라고 영국과학자인 톰슨(Thomson)에 의해서 확인된지 꼭 100년이 되는 해이다. 이 기회에 증하여 진공관의 역사를 개관해 보기로 한다. 최근에는 통상, 진공관을 전자관(電子管)이라 부르기도 한다. 또, 진공관(전자관)의 일부인 방전관에 관해서는 일부의 내용만을 여기에서 소개하고 나머지 내용은 생략하기로 한다.

2극관(2極管)의 현상은 3극진공관의 발명보다 먼저 1883년에 에디슨(Edison)에 의해 발견되었으나, 왜 전류가 2극관 속을 흐르는지에 대해서는 알지 못했다. 그는 발명가였으며, 자연의 진리를 탐구하는 과학자는 아니었고, 당시의 과학지식으로서 누구도 설명할 수 없는 현상이었다. 이것이 에디슨(Edison)효과라 일컬어지고 있는 것이다. 수 년후인 1900년대에 이르러 영국의 플레밍(Fleming)이 이 현상에 이론을 뒷받침하여 2극진공관을 실용화하였다.

그 후에 계속해서, 2극관, 3극관에 뒤이어, 4극관, 5극관, 다극관(多極管), 복합관(複合管)으로 진공관은 독보적이면서도 다양화의 길을 걸어왔다.

진공관(전자관)의 기능은 발진, 증폭, 검파, 정류, 변복조, 스위칭, 이미지변환, 전자증배(電子増倍), 촬상(撮像), 영상(映像), 표시(表示)등으로 확대하면서 통신, 방송관련 분야에서 높은 지위를 획득하였다. 무선통신이 점차로 고주파(高周波)영역으로 올라감에 따라 진공관도 여기에 상응해서 판극관(板極管)이 발명되고, 나아가 1920년대로부터 1940년에 걸쳐서 마그네트론, 크라이스트론, 그리고 진행과관등

소위, 마이크로파관이 발명되어서 발생할 수 있는 주파수도 대폭으로 높아지고, 레이더 또는, 마이크로파(microwave)에 의해 또 다시 응용의 길이 열리게 되었다. 진공관(전자관)이 이렇게 독보적인 발전을 거듭하며 나아갈 때인……

1948년에 이르러 미국에서 트랜지스터(transistor)가 발명되어 이 고체 디바이스(solid device)의 개발이 진전함에 따라 진공관(전자관)은 이 고체 디바이스와 경합의 시대로 들어가게 되었다. 이하 몇가지의 진공관(전자관)에 대해서 용도별로 그 흥망성쇠(興亡盛衰)를 설명한다.

2. 진공관의 흥망성쇠

2.1 통신, 방송관련의 진공관(전자관)

통신, 라디오, TV방송용의 수신관(受信管)은 미니어취관(miniature微小管), 서브미니에이취관(subminiatur極微小管) 등 소형화로 향해 나아갔으나, 경박단소(輕薄短小)이어야만 하는 요구에 충분히 응하지 못했다. 또 음극의 가열(발열)도 수신관의 큰 결점중의 하나였다.

수신용 진공관(受信用眞空管)은 1960년 말경을 피크로 급속히 고체 디바이스에 자리를 양보하고, 시장에서 모습이 사라졌다. 오디오(audio)관계의 시장도 일시적으로 애호가의 지지를 받기는 했으나, 지금에 이르러서는 완전히 쇠퇴해 버렸다.

송신용 진공관(送信用眞空管)은 통신기, 중파·단파(中波·短波)의 라디오 또는, VHF·UHF대의 TV방송의 송신에 불가결의 진공관(전자관)으로서 널리 사용되었으나, 이 분야도 점차로 고체화가 진행되어, 현재는 장치의 보결용으로 사용되고 있는 것에 지나지 않다. 장치의 경신과 더불어 전체가 고체화되는 날도 멀지 않았다.

마이크로파 증계회선에 사용된 반사형 크라이스트론도 사명을 다한 진공관(전자관)이다. 증출력(中出力)의 마이크로파 진행과관도 TV중계, 마이크로파 통신회선에서 한 때는 크게 융성했었으나, 그 후 급속히 시장을 잃었다. UHF TV방송용으로 개발되어 대량으로 사용되는 고출력 진행과관, 고효율 크라이스트론도 이미 고체 디바이스에 시장을

양보하고 있으며 일부에서 보완으로 쓰이는 것을 제외하고는 신규의 요구는 없다.

진행과관은 통신·방송위성의 탑재용, 지구국용에 활로(活路)를 찾아냈다. 탑재용의 진행과관은 기대수명도 10년을 넘게되고, 효율, 크기, 무게에 대해서 고체 디바이스보다 우수하다. 촬상관(攝像管)은 옛적에 TV방송에 중요한 역할을 수행했으나, 이미 시장을 CCD에 인도하고 있다.

2.2 영상, 표시용의 진공관(전자관)

흑백(黑白)으로부터 출발한 영상관(映像管)은 얼마 안되어 컬러화(color化)가되어 많은 개량이 가해져서 사업적으로 크게 발전했다. 현재, TV용의 CPT(Color Picture Tube), 퍼스컴용의 CDT(Color Display Tube)로서 많은 필요에 응하고 있다. 여기에 더해서 종횡비(縱橫比) 4:3으로부터 16:9의 횡장형(橫長形)으로, 또 하이비존을 대상으로 하는 고정세화(高精細化)로 전개를 도모하고 있다.

편향각(偏向角)을 증대함으로써, 영상관의 안쪽 길이를 단축하는 노력이 계속되어 왔다. 최근에는 휘도(輝度), 코트라스트, 연색성(演色性)등의 성능이 크게 개선한 마이크로필터관(후에 설명)의 발명이 있다.

영상관은 액정표시 디바이스, 플라즈마 디스플레이 패널(PDP)등과 경합하고 있다. 두께를 가지고 볼 때에는 이것들의 디바이스에 이길 수 없으며, 특히 후자와는 화면의 크기에서 대항할 수 없다. 그렇지만, 영상관은 가격대성능(價格對性能) 또 품질의 면에서 현재 아직도 높은 지위를 유지하고 있으며, 계속 다른 디바이스와는 엄연히 구별을 유지할 것이다.

대화면화(大畫面化)의 노력의 예로써 투사관(投射管)의 실용화를 들 수 있다. 관측용 브라운관은 주기적인 현상 또는 고속현상의 표시에 현재도 널리 사용되고 있다. 이 외에 스트리크관, 후레밍관등 특수표시관이 살아남아 있다.

2.3 레이더 송신용의 진공관(전자관)

이러한 목적으로 실용화된 주된 진공관(전자관)에는 마그네트론, 크라이스트론, 진행과관이 있다.

저출력의 펄스 마그네트론은 지금도 소형 선박용에 널리 사용되고 있으며, 진행과관은 그 광대역의 성질때문에 주로 방위관계의 용도에 사용되고 있다.

공향레이더, 기상레이더에서는 마그네트론과 크라이스트론등 진공관(전자관)끼리의 경합이 있으며 특히, 고기능의 장치에서는 크라이스트론과 같은 증폭관이 우위에 있다.

2.4 센서용의 진공관(전자관)

방전관의 일종인 인코어 모니터관은 원자로 내의 엄중한 중성자환경, 열환경(熱環境)에 견디는 유일한 중성자검출 디바이스이다. 2차전자증배관(2次電子增倍管), 광전자(光電子)

증배관, 광이미지(light image)증배관의 일종인 암시관(暗視管)등은 특수한 분야이기는 하나, 현재 필수적으로 사용되고 있다.

2.5 의료용(醫療用)의 진공관(전자관)

X선관은 방전관에서 출발하여 1913년에 개발된 구릿지관 이후에는 내부를 진공으로 한것으로 변하고 있다. 의료 이외에 비파괴검사, 분석, 도금두께의 측정등 공업용으로도 응용의 길을 넓히고 있다. X선관은 당초는 양극(陽極)의 한 점(1點)에 전자를 조사하는 고정양극관(固定陽極管)이었으나, 고선량화(高線量化)의 요구에 응해서 양극(陽極)을 회전시킴으로써 타깃(target)상의 원주를 따라 전자빔을 조사(照射)할 수 있는 회전 양극X선관으로 발전하고 있다. 회전 양극X선관의 축반이(軸受)에는 전적으로 납(鉛) 또는, 은도금(銀渡金)을 실시한 볼베어링을 사용하고 있다.

근년에 액체금속의 동압(動壓)을 이용한 회전축반이(回轉軸受)가 개발되어 그것을 조입(組入)한 새로운 액체유회X선관(후에 설명)이 개발되어 있다.

광영역(光領域)의 이미지 증배관은 암시관 이외에는 대부분 시장으로부터 자취를 감추었으나, X선영역에서 동작하는 X선 이미지는 계속 강한 수요를 유지하고 있다.

X선 이미지는 X선의 이미지를 가시(可視)의 이미지로 증폭, 변환하는 기능을 가지고 있으며, X선관과 더불어 진단에 사용되며, 최근에는 공업용으로도 용도를 넓히고 있다.

2.6 고주파의 에너지를 이용하는 진공관(전자관)

고주파의 에너지를 이용하는 송신관(전자관)은 공업응用に 강한 수요를 유지하고 있다. 유전(誘電), 유도가열(誘導加熱)의 고주파원(高周波源)이나 고전압의 스위칭등이 그 예이다. 엄중한 사용환경에 견디는 능력이 그 용도에 꼭 채용되는 이유의 하나이다.

전자레인지용의 연속파(連續波) 마그네트론은 상당한 규모로 양산되고 있는 진공관(전자관)이다. 근년에 이르러 우리나라(한국)에서의 생산이 증대되어 세계적으로 일본과 경쟁이 격화되고 있다. 출력이 3~6kW정도의 비교적 높은 출력의 연속파 마그네트론은 플라즈마에칭 장치용으로 반도체, 액정 디바이스의 제조에 확대방향을 찾아냈다.

마이크로파대(microwave band)에서 특히 큰 출력을 기대할 수 있는 크라이스트론(후에 설명)은 가속기를 위해서 고주파원으로서 한층 더 발전을 기대하고 있다. 출력 30~100kW의 고출력 크라이스트론도 공업용으로서, 금후의 발전을 기대할 수 있다. 1970년대 중반에 자이로트론(후에 설명)이 발명되었다. 이 진공관(전자관)에서는 나선궤도(螺旋軌道)를 그리며 이동하는 전자(電子)와 전계(電界)의 회전방향성분을 상호작용시키면 상대론효과(相對論效果)에 의해 가속, 감속된 전자의 전자 사이크로트론 공명주파수가 감소 및 증대하는 것을 동작원리로 하고 있다. 이 상호작용에 의

해 전제로서 전자의 회전방향의 운동에너지로 전자계(電磁界)의 에너지를 변환하고 있다. 밀리파대(miliwave band)에서 극히 큰 출력을 낼 수 있는 특징과 장점이 있으며 일약, 핵융합분야에서 강한 개발요구를 받고 있다.

2.7 기 타

전자가속용(電子加速用)의 가속관(소형의 라이나크)이 의료, 비파괴검사에 이용되고 있다.

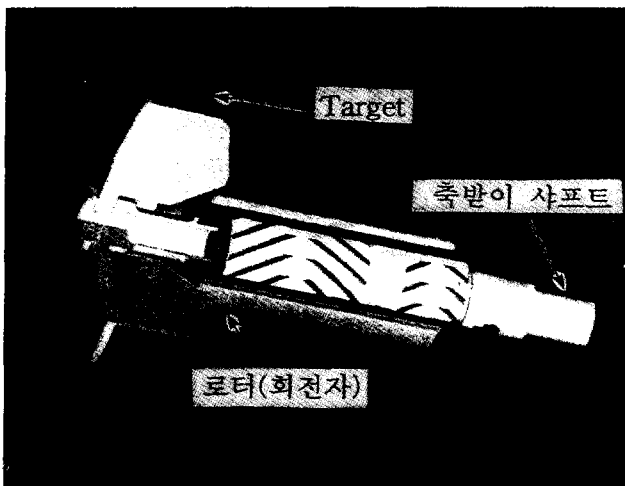
전계방사(電界放射)에 의해 진공 중에 전자를 끌어내는 진공 마이크로캐소드는 냉음극의 캐소드로 극히 미소한 진공관 특히, 높은 주파수로 동작하는 전자 디바이스로서의 가능성도 가지고 있다. 이미 영상표시관으로써 실용화를 향해서 디바이스의 개발이 진행되고 있다.

3. 최근의 개발에

3.1 액체 금속윤활X선관(液體金屬潤滑X線管)

회전양극관의 볼베어링(ball bearing)은 진공 중에 설치되며, 사용상태 또는 제조공정에서 엄청난 열사이클(thermal cycle)을 받는다.

윤활류를 사용할 수 없기때문에 기계적으로 곤란한 몇 개인가의 문제를 가지고 있다. 볼(ball)은 회전 중, 충돌과 마찰을 반복하며 비교적 큰 소리를 발생한다. 특히, 높은 선량(線量)이 요구되는 대용량의 X선관에서는 그 만큼 큰 타깃(target)을 사용함으로써 베어링에 걸리는 부담은 그 만큼 커진다.



제 1 도 液體潤滑 X 線管의 축받이 구조

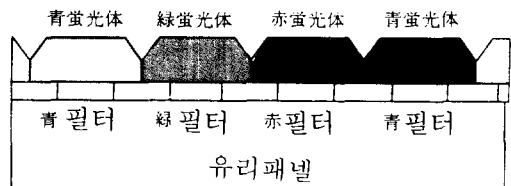
액체 금속윤활X선관은 이 문제를 해결하기 위해서 고안된 것이다. 이 X선관은 제 1도(액체 윤활X선관의 축받이 구조 참조)에 나타나는 바와 같이 동축구조(同軸構造)의 습동면(褶動面)에 헤링본(herring bone)이라 부르는 골(溝)을

파놓고 이 습동면 사이에 액체금속(液體金屬)을 주입한 구조로 되어있다. 회전자(rotor)를 회전시키면 액체금속에 동압(動壓)이 발생하여 회전자, 스테이터가 서로 직접 접촉하는일이 없는 상호가 뜬(浮) 상태로 된다. 이 때문에 극히 조용한 고속회전과 높은 신뢰성이 기대되고 있다.

이 축받이(軸受)의 구조는 회전자, 스테이터의 사이를 열, 전기 둘다 잘 전도하며, 축받이에 바라는 요건을 잘 충족하고 있다. 이미CT(Computerized Tomography)장치등, 대형 X선관으로서 실용화가 시작되었다.

3.2 마이크로필터 내장(內藏)디스플레이관(管)

이 디스플레이관은 제 2도에 표시하는 것과 같이 청(靑), 녹(綠), 적(赤)의 형광체(螢光體)도트(dot)와, 각각의 빛만을 투과하는 마이크로필터를 대(對)로 하여 배치한 구조로 되어있다. 브라운관의 전면을 형성하는 유리패널에는 종래는 형광체로부터의 외광반사(外光反射)를 경감하는 목적으로 광투과율(光透過率)이 낮은 틸트유리를 사용해 왔으나, 마이크로필터관에서는 필터에 의해 형광체가 발생하는 광(光)을 손실없이 투과하고, 그 색이외의 외광(外光)을 감쇠(減衰)할 수 있다는데서 투과율이 높은 투명유리를 채용하고 있다. 이 결과, 형광체로부터의 외광반사(外光反射)는 적지만 밝은 상(像)을 얻을 수 있다는 것이다.

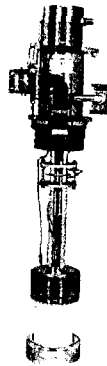


제 2 도 마이크로 필터 디스플레이관의 발광부(發光部)의 구조

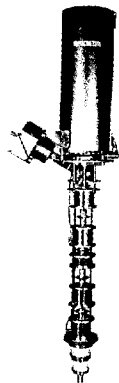
3.3 가속기용의 초고출력 크라이스트론

과학연구용의 초대형 가속기 또는 핵융합의 플라즈마 가열에 사용하는 목적으로 펄스(pulse)로 100MW, 펄스 폭은 10초정도의 긴 펄스 또는 연속파로 1MW를 넘는 고출력을 얻을 수 있는 일련의 크라이스트론이 개발되어 있다. 그 예를 제 3도(펄스 크라이스트론 참조) 및 제 4도(연속파 크라이스트론 참조)에 나타낸다. 효율은 펄스 용에서 50%, 연속용에서 60~70%이다. 긴 펄스 또는 연속파용의 것은 관의 길이가 4.5m, 무게는 대략 1t에 달하고 있다.

근년에 특히 초대형인 SOR(Synchrotron Orbit Radiation) 장치의 건설이 왕성하며, 또 소입자(素粒子)의 연구 또는 그 응용을 목적으로 한 초대형가속기의 개발프로젝트가 진행되어 그것을 위한 유력한 고주파원(高周波源)으로서, 이와 같은 초고출력(超高出力) 크라이스트론의 요구가 높아졌다.



제 3 도 펄스크라이스트론 (動作周波數 2,856MHz, 出力 100MW)

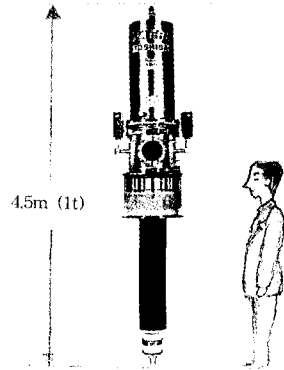


제 4 도 연속파 프라이어스트론 (動作周波數 500MHz, 出力 1 MW)

3.4 핵융합 연구용 초고출력 자이로트론

핵융합 플라즈마 가열의 요구에 응해서, 밀리파(miliwave) 고출력 자이로트론의 개발이 진행되고 있다. ITER(International Thermo-nuclear Experimental Reactor : 國際熱核融合實驗廠)가 요구하는 자이로트론의 목표출력은 170GHz대(帶)의 연속파로 1MW이다. 현재는 특히 출력창(出力窓)에 개발의 애로가 있으며, 출력과 펄스폭이 요구하는 수준에 도달하지 못하고 있다. 출력창재(出力窓材)에는 서파이어 또는 질화보론(窒化boron)등이 사용되고 있다. 창(窓)의 열부하가 너무 크면 열왜곡으로 창(窓)이 파손함으로, 이 문제를 해결하기 위해 출력의 분포를 될 수 있는 한 평탄으로 하거나 원환상(圓環狀)으로 하여, 출력의 피크치를 경감시키는 수단이 채용되고 있다. 더욱이 높은 열부하에 견디는 창재(窓材)의 개발이 급선무이다.

자이로트론의 효율은 통상 30%정도이나, CPD(Collector Potential Depression:코렉터 전위저하)동작에 의해 전자를



제 5 도 자이로트론 (動作周波數 170 GHz, 출력 500kW)

감속포집(減速捕集)하는 타입(type)의 에너지 회수기술을 사용해서, 110GHz대에서 50%이상의 효율을 낼 수 있게 하는데 성공하고 있다. 제 5도(자이로트론 참조)에 ITER의 요구를 목표로 하여 개발이 진행되고 있는 자이로트론을 소개한다. CPD기술을 채용하여 TE 31, 8 이라는 높은 차수(次數)의 전자파(電磁波)모드와의 결합을 선택하여 공동(空洞)의 열적(熱的)인 부담을 경감하고 있다. 또 관내에 모드(mode)변환기, 밀러계(miller系)를 삽입하여 관축(管軸)과 직각의 방향으로 평탄한 출력분포의 전자파를 끄집어 낼 수 있는 구성을 하고 있다.

4. 끝 맺 음

진공관(전자관)은 무선통신, 레이디오방송, 레이더, 전자계산기, VHF텔레비전방송, 마이크로웨이브중계, 컬러(color)텔레비전방송, 전자계측, 전자진단, 위성통신, UHF텔레비전방송, 위성방송등 통신 및 전자기술의 발전에 상응하여 다양하게 발전 해 왔다. 이리하던 중, 1948년에 이르러 트랜지스터가 미국에서 발명되어 이 고체 디바이스가 대두하면서 이것이 발전을 거듭하는동안 진공관(전자관)은 이 고체 디바이스와 경쟁을 하고 있으며 결과적으로 진공관(전자관)은 응용면에서 특히 통신, 방송에 관련되는 진공관들의 상당부분이 고체 디바이스에 자리를 넘겨주고, 시장(市場)도 극히 협소해졌다. 나아가 국제적인 동업자와의 경쟁, 진공관(전자관)동업자끼리의 경쟁이 있는등, 진공관(전자관)의 환경은 점점 엄중해진 것이 현재의 상황이다. 그렇다고는 하지만, 여전히 진공관(전자관)이어야만하는 영역이 있으며, 개발의 필요를 강하게 받고 있다. 이의 개발에 대한 국제협력의 길도 열려 있으며, 금후에도 기술의 계속과 발전을 위해서 노력의 계속 되어, 정력적인 개발이 진행되리라 보고 있다. 금후의 전개를 기대하고 싶다.

계명소개



조규심(曹圭心)

1928년 12월 23일생. 서울대 공대 전자공학
학과 졸업(공학). 기술사(전기통신). 체신
부 근무(통신기좌). 미국 Bell Laboratory
연구소. Telephone Switching Department
(미국 New Jersey주 소재)에서 전기통신
기술 연구1년/프랑스 CNET 통신연구소(Centre Nationale
Recherche & Etude Telecommunications, 프랑스 Paris 소

재)에서 전송 및 교환공학 연구 1년/ 독일 우정성 통신연구
소(Bundespost Nachricht Technische Forschung Institute
für Télécommunications 독일 Darmstadt시 소재)에서 전
송 및 교환기술 연구1년. 한국전자통신연구소 전송방식연구
실(실장). 고려통신기술용역 주식회사근무(대표이사·사장).
동아엔지니어링주식회사 기술고문. 한국기술사회(이사). 대
한전자광학회(이사). 미국 전기전자공학회 IEEE(정회원).