



맥스웰 방정식 : 전자기를 통한 새로운 패러다임의 출현

「전자기학」과 「과학과 철학」강의페어링

전자공학과, 김현수, 201220652, 이진희교수님 지도

배경

전자기라는 개념은 1800년 이전까지 전기와 자기, 별개의 것으로 인식되어 왔다. 이후 여러 현상과 실험을 통하여 전기와 자기는 서로 연관성이 있음이 밝혀졌으나 전자기에 대해 공식으로 체계화시키지 못하고 단순히 실험적으로만 현상을 이해 할 뿐이었다. 이후 맥스웰 방정식이 발표됨으로써 전기와 자기를 연관된 개념으로 일목요연하게 설명할 수 있게 되었고 이에 수많은 과학자들이 반증에 노력을 기울였으나 이론의 견고함만 더해줄 뿐이었다. 이윽고 패러다임으로 인정받아 당시 과학을 지배하는 새로운 학문 분야인 전자기학이 되었다.

패러다임이란?

귀납주의적, 반증주의적 설명보다는 과학사를 통하여 토마스 쿤(Thomas Kuhn)은 과학을 설명하려 하였고 이를 위해 '패러다임'이라는 새로운 단어를 만들어 내었다. 패러다임이란 한 시대에서 받아들여지는 주요한 과학적 이론, 관습 등의 '틀'로서, 예를 들면 과학이 발전해 오면서 수많은 과학자가 나타났고 그에 따른 많은 주장을 펼쳤지만 과학자들 사이에서 공유되고 받아들여지는 주장은 제한되어 있었다는 것이다. 만약 기존의 패러다임에 이론, 실험적으로 일치하지 않는 등의 위기가 도래하면 새로운 이론이 주장되고 받아들여지며 곧 새로운 패러다임으로 인정받았을 때 기존의 것이 사장되는, '혁명'이 일어난다고 주장하였다. 이런 점으로부터 같은 분야에서 경쟁하는 기존의 패러다임과 새로운 패러다임은 서로 공존할 수 없다고 주장했다.

일단 패러다임이 수용된 후 해당 분야 과학자들을 지배하는 것은 수용된 패러다임이다. 이를 정상과학이라 하는데, 이 패러다임의 통제 내에서 과학은 연구되고 발전되며 반증과 같은 위기가 찾아와 혁명의 과정을 거쳐 다시 새로운 패러다임이 받아들여지는 구조가 반복된다.

세상을 힘을 통해 이해 : 뉴턴 패러다임

뉴턴이 기존의 패러다임을 바꿀 새로운 이론인 중력을 제시하기 전까지, 당시 과학을 지배하는 생각은 천상계의 법칙과 지상계의 법칙은 서로 구분된다는 점이었다. 사람들은 천상계는 존재하며 영원불멸, 질서정연하지만 지상계는 시작과 끝이 있으며 변화가 있다고 생각 하였다. 하지만 기계론으로 대표되는 데카르트 사상을 거쳐 1687년, 만유인력을 비롯하여 뉴턴의 최대업적으로 평가되는 힘의 3법칙을 저서 '프린키피아'를 통해 발표하자 이전의 패러다임은 완전히 사장되어버렸다. 이를 통하여 '우주의 모든 힘은 수학적으로 설명할 수 있다'라는 새로운 기준을 기존 과학계에 제시했다.

분야 : 전자기학의 공인

뉴턴 패러다임이 계속 이어지는 와중에 패러데이와 톰슨은 당시 시대상과 맞물려 전기와 자기를 연관성이 있는 하나의 개념으로 이해하려는 연구를 진행하였으나 법칙을 체계화 시키지 못해 공유되지 못하였고 결국 패러다임으로 인정받지 못했다. 그러나 이들의 연구를 계승한 맥스웰이 공식을 정리하여 이론(맥스웰 방정식)을 발표하자, 과학자들에게 검증의 과정을 거쳐 패러다임으로 인정을 받을 수 있었다. 이를 통해 '전자기학'이라는 이름과 함께 정상과학의 지위를 부여 받아 지금까지 연구, 발전되고 있다. 이것은 기존 패러다임의 위기 없이 출현 하였고 사이비 과학으로 생각되는 전과학 단계로 여겨진 것도 아니기에 이 패러다임의 출현은 '새로운 패러다임은 기존 패러다임의 위기로 부터 출현한다'라는 쿤의 이론에 따르는 것이 아닌 **새로운 학문에 대한 개척**이라고 생각할 수 있다.

이에 대한 비판 역시 생각해 볼 수 있다. 맥스웰 방정식은 뉴턴의 '힘'이라는 큰 범위 안에 '기전력'이라는 소분야를 이용하였으며 힘을 통해 현상을 설명하려 하였다. 이것은 뉴턴 패러다임만으로는 전자기 현상을 설명하지 못하는 위기에서 나온, **패러다임의 위기에서 혁명을 통해 나온 새로운 패러다임**으로 해석 할 수 있다. 이러면 두 과학은 서로 경쟁상대가 되고 경쟁과학은 서로 공존할 수 없다는 이론에 따라 두 패러다임 중 하나는 사장되어야 한다. 그렇지만 어느 방향으로 해석하던지 당시 과학자들에게 전자기학이 공인되었다는 것은 자명하다.

전자기의 통합 이해 : 맥스웰 방정식

가우스, 패러데이, 톰슨, 앙페르와 같은 과학자들의 연구를 계승하여 집대성한 맥스웰 방정식은 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \vec{E} &= \rho_v = \frac{\Delta q}{\Delta v} && \text{전기장은 전자에 의해 생성된다.} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 && \text{자기장은 처음과 끝이 없다.(폐곡선을 이룬다.)} \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} && \text{전기장은 자기장의 변화에 의해 결정된다.} \\ \nabla \times \vec{B} &= \mu_0(\vec{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}) && \text{자기장은 전류와 전기장의 변화에 의해 결정된다.} \end{aligned}$$

전기와 자기를 연관시켜 설명하려는 맥스웰 방정식이 나오는 과정에서 맥스웰을 비롯한 과학자들은 전자기 현상을 이해하기 위해 훗날 마이켈슨-몰리 실험으로 부정되는 '에테르'라는 모델을 도입하여 설명하려 하였다. 에테르를 통해 맥스웰은 '전자기파의 속도는 빛의 속도와 같다'라는 결과를 얻었는데 이는 전기와 자기뿐만 아니라 광학까지도 서로 연결시켜버리는 성과였다. 하지만 에테르는 애당초 잘못된 실험 모델이었기에 '특정 결과를 이끌어 내기 위하여 잘못된 모델을 세워 연구하는 것이 옳은가?'라는 논쟁을 불러 일으켰고 지금도 이에 대하여 의견이 분분하다. 그렇지만 빛은 전자기파라는 사실이 밝혀진 덕분에 아인슈타인의 특수상대성원리가 발견되었고 새로운 패러다임인 현대물리학이 시작되었으니 과학 발전에는 의미가 있다고 평가한다.

결론

패러다임을 이해하기 위해 과학사라는 도구를 가지고 지금까지 새로운 패러다임의 출현을 살펴보았다. 패러데이에서 맥스웰까지 반 백년에 가까운 시간이 흘러 하나의 패러다임으로 인정받았고 '신의 기호'라고 표현 될 만큼 완벽에 가까운 이론으로 평가되지만 출현 과정과 공인되는 과정까지 완벽한 것은 아니었다. 그럼에도 불구하고 이 분야의 출현은 오늘 날 우리가 TV, 핸드폰 등 문명의 이기를 사용하는데 있어 배경이 되는 이론임에는 이의를 제기할 수 없다.

이렇듯 과학사의 이해와 설명을 통한 패러다임의 이해는 과학사용자들에게 과학에 대한 더 명확한 이해능력을 제공해 줄 것이기에 **과학을 배우는 데에 있어 과학 발전사의 이해는 반드시 필요하다고 생각한다.**