

론적인 세계관을 보여 주면서도 어떤 의미에서는 그로부터 벗어난 복합적 성격을 띠고 있었다. 그리고 그 안에는 여러가지 점에서 진정 근대적인 실험과학으로서의 성격이 함께 포함되어 있었다. 그러므로 Gilbert의 자기철학에 대한 어떠한 특정 시각으로부터의 일면적 파악도 충분하지 못하다. 그의 자기철학은 기계적·역학적·정량적·수학화된 과학으로의 발전이라는 과학혁명의 주된 흐름으로부터는 벗어나 있었지만, 16세기말의 복잡한 사상적·사회적 상호작용 속에서 형성되었던 유럽과학의 독특하고 흥미있는 하나의 발전방향을 대표하는 것이다.

M. Faraday에 있어서 자기력선 개념의 형성과정에 대한 고찰

서울대 대학원 홍 성 욱

I

1820년대 이후 전기·자기현상을 설명하는 이론중 가장 정통적으로 받아들여지고 있던 것은 앙페르의 이론이었다. 이 이론에 의하면, 전류가 나타내는 자기현상은 본질적으로 전기현상이었으며, 따라서 자석이 나타내는 자기력도 자석 속에 존재하는 전기적 분자 상호간의 힘의 총합이었다. 그의 이론은 자기력이 궁극적으로 전기력이라는 간단한 가설에 기초하여 전류의 자기현상을 설명했으며, 또 이런 현상을 수학적으로 다룰 수 있었다. 이것은 궁극적으로 전기력, 자기력을 원거리작용의 인력과 반발력으로 설명했던 쿨롱의 전통, 더 크게는 18세기 이후의 뉴턴주의 과학의 전통에 위치하는 것이었다.

그러나 맥스웰에 이르러 완성된 근대 전자기학의 체계는 앙페르의 이론과는 근본적으로 다른 것이었다. 왜냐하면 앙페르와 그의 추종자들은 전자기력을 원거리작용의 인력과 반발력으로 간주했음에 반해, 맥스웰의 전자기체계는 정전기력, 전자기력 모두를 물체 주위의 매질의 특성에 의해 매개되는 것으로 파악하는 장론(場論: field theory)에 기초하고 있었기 때문이었

다. 원거리작용의 경우에는 힘의 작용은 순간적인 것이었으나, 장론의 경우에는 힘은 매질의 작용에 의해 한 물체에서 다른 물체로(일정한 시간을 가지고) 전파되는 것이었다.

맥스웰이 후에 발전시킨 장론에서 가장 중심 개념이었던 “장의 선”(field line)은 패러데이의 역선(力線: lines of force) 개념을 기하학화한 것이었다. 역선 개념 이외에도 힘의 전파가 순간적인 원거리작용이 아니라 일정한 시간을 필요로 하는 것이라는 설명도 패러데이의 역선을 통한 힘의 전파라는 이론에 근거한 것이었다. 전기력, 자기력의 본질이 원거리작용이 아니라 전기력선, 자기력선을 통해 전파되는 것이라고 처음 주장한 사람은 다른 아님 패러데이였던 것이다.

이 논문에서는 1845년 이후 패러데이가 자기현상에 대해 집중적으로 연구한 기간에 걸쳐, 그의 자기력선 개념의 형성과정에 대해 고찰할 것이다. 그리고 이것에 대한 고찰은 다음과 같은 몇가지 질문에의 대답을 포함하게 될 것이다. 먼저, 패러데이가 1845년 자기력선 개념을 다시 도입했을 때, 그는 이것에 어떤 의미를 부여하고 있었는가? 왜 그는 1852년에 이르러까지 자기력선의 물리적 실재성을 주장하지 않았는가? 그리고 그가 자기적 전도 이론(磁氣的 傳導 理論: magnetic conduction theory)을 형성하는데 가장 결정적인 요인으로 작용한 것은 무엇인가?

II

1837년 패러데이는 정전기유도가 원거리작용이 아니라 인접한 입자들에 의한 작용임을 발표했다. 여기서 그는 이 인접한 입자들이 모여서 나타내는 역선을 유도력선(誘導力線: lines of inductive force)이라고 명명했으며, 정전기력은 이 유도력선을 통해 한 입자에서 다른 입자로 연속적으로 전달되는 것이라고 주장했다. 유도력선을 정의하면서 그는 이것과 자기력선과의 유추를 제시했는데, 그에 의하면 『유도력선이나 휘어진 역선이란 어구가 의미하는 것은, 우리가 자기력선이란 말을 사용할 때 이것이 의미하고

있는 정도의 일반적인 표현』인 것이었다.

그가 유도력선을 정의하면서 자기력선과의 유추를 설정했던 이유는, 유도력선이 휘어진 곡선이라는 것을 주장하기 위해 가시적(可視的)으로 분명한 자기력선과 비교하는 목적에서였다. 보통 막대자석에서 자기력선은 자석의 한 극에서 나와 다른 극으로 들어가는 모양이었고, 전류가 흐르는 도선 주위에서는 동심원의 형태를 나타냈다. 이런 예에서 볼 수 있듯이 자기력선의 휘어진 곡선형태는 철가루의 배열 모양으로부터 쉽게 알 수 있는 것이었다.

그러나 이 둘 사이의 유추는 완벽한 것이 아니었다. 왜냐하면 정전기력은 유전체 입자의 연속에 의해 휘어진 선을 통해 작용하는 것이나 자기력의 작용에서는 이런 매개입자가 발견되지 않았기 때문이었다. 1838년까지의 패러데이의 실험과 이로부터 이끌어낸 결론에 의하면, 모든 극성력은 인접한 입자들의 매개작용에 의해 전파되는 것이었다. 단지, 자기력만이 이것이 분명히 극성력임에도 불구하고 매개입자와 무관했다.

1845년 패러데이가 광자기 회전효과(光磁氣回轉效果: magneto-optic rotation)를 발견하고 이 현상을 나타내는 물질을 dimagnetic 으로 명명했던 것은 이것과 유전체(dielectric) 간의 명백한 유추를 설정하려 했던 그의 입장을 잘 나타내 준다. 즉 반자성체 입자들은 이것을 통하여 자기력을 전달시키는 분자적 조건을 자기력으로부터 취하고 있었기에 바로 반자성체가 1837년 당시 그가 발견할 수 없었던 자기력의 매개입자일 가능성이 존재했던 것이다.

이 점은 1845년 패러데이가 도입한 자기력선의 의미를 밝히는 데 중요한 열쇠가 될 수 있다. 1845년 그가 광자기 회전효과의 일반법칙 — 자기력선과 빛이 평행하게 반자성체 속을 통과하던 빛의 편광이 회전한다는 것 — 을 서술하기 위해 자기력선 개념을 사용했을 때, 그는 이것을 자기적 작용을 가시화해서 그 방향을 나타내는 개념적 도구로 사용했다. 이것은 그가 1831년 전자기유도현상을 설명하기 위해 자기력선 개념을 도입한 것이나, 1838년 정전기력선을 명확히 하

기 위해 자기력선 개념을 도입한 것의 연장선상에 위치하는 것이었다. 그렇지만 그는 자기력선이 반자성체 입자들의 연속에 의해 자기력을 전파하는 것일 수도 있다는 가능성을 동시에 가지고 있었던 것이다. 그런데 왜 그는 1852년에 이르러서야 자기력선이 자기력을 전파하는 물리적 실재라고 주장하게 되었는가?

1845년 당시 패러데이가 자기력선의 실재성을 보이는 데 성공적이지 못한 것은 두가지 이유에서였다. 첫번째는, 반자성체가 자기력을 통과시키는 역할을 하는 것이 아니라 자기력에 의해 직접 반발력을 받아 움직인다는 사실을 발견한 것이었다. 인력이 아닌 반발력을 받는다는 점 때문에 이것을 보통 자기적 작용과는 구별할 수 있었지만, 그럼에도 불구하고 자기력의 영향을 받아 움직인다는 점에서 이것은 넓은 의미의 자기적 작용이었다.

두번째 문제는 매질의 문제였다. 패러데이의 힘의 전파 이론에 의하면, 『물질의 매개 입자들이 존재하는 경우에는 힘이 이 입자들의 적용에 의해서 역선을 통해 전달되지만, 이런 입자들이 존재하지 않을 경우에는 역선은 공간 속에서 직진하기』 때문에 자석 주위의 공기의 밀도를 희박하게 하면 자기력선은 휘어진 역선에서 직선으로 바뀌어야만 했다. 그러나 자기력이 매질과는 무관하게 동일하게 작용하며, 자기력선의 형태가 공기 속에서나 진공 속에서나 동일하게 되어 있다는 것은 쉽게 확인되는 것이었다.

이러한 문제가 패러데이로 하여금 자기력선 개념을 자기현상을 설명하는 데 가장 중심적인 것으로 사용하지 못하게 한 것들이었다. 이런 문제점들이 궁극적으로 내포했던 것은 자기력이 분명히 극성력이면서도 다른 극성력이 만족하는 여러 특성들을 그대로 따르지 않는다는 것이었다. 이제부터는 이런 문제점이 해결되면서 자기력선이 자기현상을 설명하는 가장 중심적인 개념으로 부상하는 과정에 대해서 살펴 보자.

패러데이는 반자성체가 자기력에 의해 반발력을 받는다는 것은 발견하고, 이 새로운 현상에 대한 설명을 시도했다. 먼저 그는 앙페르의 “전기동역학적 분자”(electrodynamic molecules)의

방법을 도입했으나, 이것이 실험적 사실이 아니라 가설의 범주에 속하는 것임을 인식하고 이것에 의한 설명을 깊이 진행시키지는 않았다. 이것 이외에도 그는 반자성체의 특성을 물질과 주위 매질과의 자기적 특성의 차이로도 설명하려고 시도해 보았지만, 반자성체는 공기의 밀도에 무관하게 계속 반자성체의 성질을 가진다는 것을 발견하고 이 설명도 포기할 수밖에 없었다. 즉 반자성체의 특성을 물질의 내부조건을 통해 설명하는 것은, 아직 실험적으로 입증되지 않은 물질의 미시적 메커니즘을 상정해야 했으며, 이것을 물질과 매질의 자기적 특성을 통해 설명하려는 시도는 역시 실험결과와 위배되는 사실을 포함하고 있었다.

이 문제는 1845년 이후 패러데이를 계속 괴롭혔던 문제였다. 그러나 1848년 플뤼커가 발견한 결정자기작용(結晶磁氣作用: magne-crystallic action)에 대해 실험을 하던 중 패러데이는 중요한 사실 하나를 발견할 수 있었다. 그것은 반자성체의 운동이 보통 자성체의 극성과 반대방향인 반자기적 극성(diamagnetic polarity)을 가정하지 않아도 된다는 것이었다. 이 실험과정에서 패러데이는 자기력선 개념에 대해서는 아직도 불확실한 상태로 남아 있었지만 반자성체가 그 분자의 역방향의 극성에 의한 것이 아니라는 생각에 더 확신을 가지게 되었다.

이런 생각은 패러데이가 자성체, 반자성체를 서로 다른 전하로 이루어진 두가지 반대방향의 전기적 유체로 설명했던 베버의 실험을 다시 실험하며 더욱 강해졌다. 이 실험을 통해 그는 반자성체의 작용이 그 물질 내부의 전기적 분자들의 분자적 극성의 역방향성에 기인한 것이 아니라 유도전류에 의한 것임을 보일 수 있었다. 패러데이가 물질의 분자적 조건이 반자성체의 작용을 결정하지 않는다고 확신한 것은 바로 이 실험을 통해서였다.

그러나 유도전류에 의한 설명이 충분히 만족스러운 것이 아니라는 점은 패러데이 자신이 충분히 인식하고 있었다. 왜냐하면 유도전류의 방향은 자성체나 반자성체나 같은 방향이었으며, 이 세기는 그 물질의 자기적 특성이 아닌 전기

적 전도성에 비례하는 것이었기 때문이다. 따라서 패러데이는 물질의 분자적 극성을 부정했지만, 자기적 작용과 반자기적 작용이 물질을 구성하는 입자들의 “질”의 차이에서 나타나는 것이라는 생각을 완전히 버릴 수는 없었던 것이다. 따라서 만일 이 두 작용의 차이가 물질입자들의 질적 차이에 의한 것이라면 자성체 입자와 반자성체 입자 각각은 자기력에 의해 인력과 반발력을 받아야 했다.

이것을 알아 보기 위한 가장 적합한 실험은 자성체 기체, 반자성체 기체를 사용하여 이것들의 부피의 변화를 알아 보는 것이었다. 비록 이 부피의 변화의 발견에는 실패했지만, 자기력선 개념이 자기현상을 설명하는 중심개념으로 부상한 것은 바로 이 실험을 통해서였다. 패러데이는 기체와 진공의 자기적 특성에 대해 실험을 하던 중 진공과 자기력과의 관계를 새롭게 생각했던 것이다.

앙페르의 이론에 의하면 자기력의 영향을 받는 물질은 그것의 전기동역학적 분자 주위에 전류를 형성했다. 따라서 진공은 그 속에 어떤 물질 입자도 포함하지 않고 있기 때문에 자기력의 작용과는 무관한 것이었다. 패러데이도 1845년 이후 원점을 자기적 작용, 반자기적 작용과 무관한 물질로 정의했으며, 이것은 진공이 원점이라는 신념이 강해지면서 계속되었다. 다른 말로 하면 패러데이는 앙페르의 이론 중에서 자기력과 물질 간의 상호작용은 부정했지만, 자기력과 진공과의 관계는 인정하고 있었던 것이다.

그러나 1850년 패러데이는 진공과 자기력의 관계에 대해 다시 생각하게 되었다. 분명히 자기력은 진공에 대해 무관했다. 그러나 자기력선은 다른 역선과 같이 진공을 가로지르는 것이었다. 즉 진공이 자기력에 대해 무관하다는 것의 의미는 진공이 자기력선의 존재를 전혀 교란시키지 않는다는 것이었다. 이런 의미에서 공간(순수한 진공)은 그 자체의 자기적 관계를 가지고 있는 것이었다.

그렇다면 물질은 자기력선에 대해 어떤 관계를 가지는가? 이제 분명한 것은 물질이 진공과는 달리 자기력선을 교란시킨다는 것이었다. 자

성체가 그 주위에 자기력선을 집중시킨다는 것은 실험적으로 널리 알려진 사실이었다. 그리고 이것은 자성체가 진공에 비해 더 많은 자기력선을 통과시킨다는 것을 의미했다. 이제 반자성체가 자기력선을 발산시킨다는 것을 인정하는 것은 어려운 일이 아니었다. 패러데이는 자기적 전도이론에 독자적인 방법으로 도달할 수 있었던 것이다.

이 자기적 전도이론에서 자기현상을 설명하는 가장 중심적인 개념은 바로 자기력선이였다. 자기력선은 그것이 집중되는가, 발산되는가에 의해 어떤 물질이 자성체인가 반자성체인가를 구분하게 해 주었으며, 어떤 물질이 영구자석인가 또는 보통 물질인가도 결정할 수 있게 해 주었다. 이것을 통해 자기력선은 자기력의 방향만이 아니라 그 세기까지 결정하게 되었다.

패러데이는 지금까지의 실험을 통해 자기력선이 진공 속에서도 훌륭하게 작용한다는 것을 발견했다. 이것은 지금까지의 극성력의 특성과는 모순되는 것이었다. 1838년 당시만 하더라도 패러데이는 자기력을 전파하는 입자를 찾으려는 노력을 했지만, 자기력선이 중심개념으로 부상

함에 따라 자기력을 전파하는 것은 매개입자가 아니라 자기력선이라고 주장하게 되었던 것이다.

III

지금까지 우리는 1845년 이후의 패러데이의 자기현상에 관한 연구 속에서 자기력선이 자기의 본질을 나타내는 중심적인 개념으로 부상하는 과정과 이것을 통해 패러데이가 자기현상을 어떻게 설명했는가에 대해 살펴 보았다. 이 고찰을 통해 알 수 있었던 사실은 자기력선 개념의 부상이 단지 실험적 자료가 축적되면서 반자동적으로 이루어진 것이 아니었으며, 역으로 순수한 사변적 가설에 의해 미리 설정된 것도 아니었다는 것이다. 이 과정은 기존이론으로는 설명하기 어려운 새로운 실험적 사실의 발견과, 이 사실을 분자적 가설 없이 설명하려는 패러데이의 시도, 그리고 자연계 힘의 본성에 대한 패러데이의 믿음이 복잡한 상호작용을 거치면서 나타난 것이었다. 이 역선을 통한 힘의 전파라는 개념은 톰슨, 맥스웰에 의해 수용되어 발전되었으며, 이것은 1870년대 이후의 영국 전자기학의 가장 큰 특징으로 나타났던 것이다.