

Michael Faraday에 있어서 자기력선 개념의 형성과정에 대한 고찰

洪 性 旭

서울대학교 大學院 物理學科

Research on the Development of Michael Faraday's Concept of Lines of Magnetic Force

HONG Sung Ook

Department of Physics

College of Natural Science, Seoul National University

ABSTRACT

The subject of this paper is concerned mainly with the formation and development of Faraday's concept of the lines of magnetic force from 1845 to 1855, during which he concentrated his efforts mostly upon the researches on magnetic phenomena. First, this paper shows that the concept of lines of magnetic force, introduced in 1845, was given double meanings: one was as a conceptual tool representing the direction of the magnetic action; the other was as a physical reality transmitting the magnetic force. Then, after the limitations of each of these meanings were removed, this concept emerged as a physical reality essential to the magnetic phenomena. The paper also shows that this removal was made possible by his experimental researches at 1850, concerning the relationship between the magnetic force and vacuum. Chapter 1, 2, 3 of the main part of the paper treat the above topics in detail. In Chapter 4, Faraday's experiments to establish the physical existence of the lines of magnetic force are discussed, and the problems of these experiments caused by his belief in the physical existence of it are considered.

서 론

쿨롱(C.A. Coulomb, 1736—1806)이 전기력, 자기력이 각각 전기적 유체, 자기적 유체들 사이의 거리의 역자승에 비례함을 보임으로써 뉴턴주의의 인력과 척력의 개념을 전기, 자기의 영역에 까지 확장시킨 이후¹⁾ 1820년대에 이르러 전기 자기현상을 설명하는 이론 중 가장 정통적으로 받아들여지

* 1986년 7월 25일 접수 ; 1986년 10월 13일 게재 결정. 이 논문은 필자가 1986년 서울대학교 대학원 과학사 및 과학철학 협동과정 석사학위 논문으로 제출, 통과되었던 것을 일부 수정한 것이다. 이 논문을 위한 연구에 있어 도움과 비판을 준 김영식, 장희익, 김명자, 이인호 교수님께 감사를 드린다. 그러나 아직도 남은 잘못은 물론 전적으로 필자의 책임이다.

1) C.A. Coulomb, "Sur l'électricité et le magnétisme" Seven Memoirs in the *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* (1785—1789, pub. 1788—1792). 이에 대한 논의로는 C.S. Gillmor, *Coulomb and the Evolution of Physics and Engineering in 18th-Century France* (Princeton Univ. Pr., 1971), esp. pp. 175—221을 볼 것.

던 것은 앙페르의 이론이었다.²⁾ 앙페르의 이론에 의하면, 전류가 흐르는 두 도선 간의 상호작용의 경우와 같이, 외르스테드(H.C. Oersted, 1771—1851)가 발견한 전류가 나타내는 자기력도 자석 속에 존재하는 전기적 분자 상호간의 힘의 총합이었던 것이다. 그의 이론은 자기력이 궁극적으로 전기력이라는 이같은 간단한 가설에 기초해서 전류의 자기현상을 설명했으며, 또 이러한 현상들을 수학적으로 취급할 수 있었다.³⁾ 비록 앙페르의 이론이 전기와 자기의 상호작용을 부정했던 쿨롱의 원리와는 조금 달랐지만, 이것은 궁극적으로 전기력, 자기력을 원거리 작용의 인력과 척력(attraction and repulsion by the action at a distance)으로 설명했던 쿨롱의 전통, 더 크게는 18세기 이후의 뉴턴주의 과학의 전통에 위치하는 것이었다.

그러나, 맥스웰(J.C. Maxwell, 1831—1879)에 이르러 완성된 근대 전자기학의 체계⁴⁾는 앙페르의 이론과는 근본적으로 다른 것이었다. 왜냐하면, 앙페르와 그의 추종자들은 전자기력을 원거리 작용의 인력과 척력으로 파악했음에 반해, 맥스웰의 전자기 체계는 정전기력, 전자기력 모두를 장론(場論 : field theory)——힘을 물체들 주위의 매질의 특성에 의해 매개되는 것으로 파악하는 이론——에 기초하고 있었기 때문이었다.⁵⁾ 원거리 작용의 경우에는 힘의 작용이 순간적이었으나, 장론의 경우에는 힘은 매질의 작용에 의해 한 물체에서 다른 물체로(일정한 시간을 가지고) 전파되었다.

그런데, 맥스웰이 후에 발전시킨 장론에서 가장 중심개념이었던 ‘장의선’(field line)은 패러데이의 역선(力線 : lines of force) 개념을 기하학화(幾何學化)시킨 것이었다.⁶⁾ 역선 개념 이외에도 힘의 전파가 순간적인 원거리 작용이 아니라 일정한 시간을 필요로 하는 것이라는 설명도, 패러데이의 역선을 통한 힘의 전파라는 이론에 근거한 것이었다. 그렇다면 전기력, 자기력의 본질이 원거리 작용이 아니라, 전기력선, 자기력선을 통해 전파되는 것이라고 처음 주장한 사람은 다름아닌 패러데이였던 셈이다.⁷⁾

패러데이(M. Faraday, 1791—1867)는 1831년 전자기유도(電磁氣誘導 : magneto-electric induction), 유전체(誘電體 : dielectrics), 1845년 광자기 회전효과(光磁氣 回轉效果 : magneto-optic effect, mag-

2) 이 당시 전기, 자기 이론에 대한 간단한 논의로는 T.Brown, “Electric Current in Early 19th Century Physics”, *Historical Studies in the Physical Sciences*, [1 (1969), 61—103 ; L.P. Williams, *Michael Faraday* (New York, 1971), pp.137—151을 볼 것.

3) A.M. Ampère, “De l'action exercée sur un courant électrique par un autre courant, le globe terrestre ou un aimant”, *Annals de chimie et de physique*, 15 (1820) ; “Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience”, *Mémoires de l'Académie royale des sciences de l'Institut de France* (1823. 6) ; 앙페르의 전자기학 모델에 대한 논의로는 L.P.Williams, *op. cit.* (註 2 참조), p. 144 ; L.P.Williams, “Ampère's Electrodynamical molecular Model”, *Contemporary Physics*, 4(1962), 113—123, esp. p. 121을 참조. 그의 이론의 초기 수용에 대한 논의로는 K.L. Caneva, “Ampere, the etherians and the Oersted Connexion”, *British Journal for the History of Science*, 13 (1980), 121—138이 있다.

4) J.C. Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism* (London, 1873).

5) 이 두 이론의 차이에 대해서는 J.T. Merz, *A History of European Thought in the 19th Century* 4 Vols. (1904—1912), esp. Vol. 1, pp. 308—381, Vol. 2, pp. 66—94 ; P.M. Harman, *Energy, Force and Matter* (Cambridge Univ. Pr., 1982) esp. pp. 72—118 ; A.E. Woodruff, “Action at a Distance in 19th-Century Electromagnetism”, *Isis*, 53 (1962), 439—459를 볼 것.

6) J.C. Maxwell, “On Faraday's Lines of Force”(1855—56) ; “On Physical Lines of Force”(1861—1862), 이 논문의 구체적 내용에 대해서는 C.W.F. Everitt, “James Clerk Maxwell”, in C.C. Gillispie ed., *Dictionary of Scientific Biography* 16 Vols. (New York, 1970—1980), Vol. 9, pp. 198—230, esp. pp. 206—209를 참조할 것. 또는 J.C. Maxwell, *op. cit.* (註 4 참조), [645]를 볼 것.

7) M.Faraday, “On Static Induction” (1837) in his *Experimental Researches in Electricity* 3 Vols. (London, 1839—1855), Vol.1, Series 11 (이 책은 이후 ERE로 약칭하며 이것을 인용할 때는 페이지가 아닌 고유번호로 인용할 것임), L.P. Williams, *Michael Faraday* pp. 296—299 ; J.T.Merz, *op. cit.* (註 5_참조), Vol.2, pp. 66—70.

neto-optic rotation), 반자성체(反磁性體 : diamagnetism) 등의 발견을 통해 그 당시 이론으로 설명이 안되던 특이한 현상에 대해 더 넓은 이해를 가능하게 했다. 그리고, 이러한 발견은 동시에 그 이전까지 알려지지 않았던 새로운 실험적 사실을 제공함으로써 필연적으로 기존 이론들의 변형을 수반했다. 그러나, 새로운 실험적 사실의 발견 이외에도, 패러데이는 원거리 작용을 부정하고 역선에 의한 힘의 전파라는 새로운 이론을 제시함으로써 장론의 기초를 제공했던 것이다.

이 논문에서는 패러데이가 자기 현상에 대해 집중적으로 연구한 1845년부터 1855년까지의 기간에 걸쳐 그의 자기력선 개념⁸⁾이 어떻게 형성되어 갔는가에 대해 고찰할 것이다. 그리고, 이것에 대한 고찰은 다음과 같은 몇 가지 중요한 질문에의 대답을 포함하게 될 것이다. 먼저, 패러데이가 1845년 자기력선의 개념을 도입했을 때⁹⁾, 그는 이것에 어떤 의미를 부여하고 있었는가? 왜, 그는 1851년에 이르기까지 자기력선의 물리적 실재성을 주장하지 않았는가? 그리고, 그가 자기적 전도이론¹⁰⁾(磁氣的 傳導理論 : magnetic conduction theory)을 형성하는 데 가장 결정적인 요인으로 작용한 것은 무엇인가?

윌리엄스(L.P. Williams)는 *Michael Faraday*에서 패러데이가 1845년 자기력선의 개념을 사용했을 때 이것을 물리적 실재(physical reality)로 파악하고 있었고 이후 1850년까지 이것이 실재라는 생각이 점점 더 강해졌다고 주장했다.¹¹⁾ 그의 주장은, 1837년 패러데이가 전기력선을 물리적 실재로 파악을 했고 그의 물질이론이 자기력선을 포함한 모든 역선의 실재성을 인정할 수밖에 없었다는 점에 근거하고 있다.¹²⁾ 이와 같은 주장에 의하면 1845년 이후 1850년까지의 패러데이의 작업¹³⁾은 자

8) 예를 들어 1629년 이탈리아의 까베오(N. Cabeo, 1586—1650)는 자석 위에 종이를 놓고 이 위에서 철가루에 의해 그려지는 선을 ‘자기력선’이라 명명했다. 그러나 이 개념이 충분히 발전된 것은 패러데이에 와서였다. J.G. May, “Lines of Force”, in W.F. Bynum et al. eds., *Dictionary of the History of Science* (Princeton Univ. Pr., 1985), p. 239를 볼 것.

9) 패러데이는, “On Some New Electro-Magnetical Motions, and on the Theory of Magnetism”, *Quarterly Journal of Science* (1821)에서 역선의 개념을 암시했다. 자기력선의 개념이 처음 명백하게 사용된 것은 1831년 전자기 유도에 대한 논문인 *ERE*, Series 1에서였다.

10) 여기서 ‘전도’의 개념은 어떤 물질이 자기력을 더 많이 통과시키는가, 또는 더 적게 통과시키는가를 의미하는 것이다. 이것은 한 물질에 통과하는 자기력선의 갯수로 나타낼 수 있는 것이었으며, 따라서 자기력선 개념이 자기현상을 설명하는 중심적 개념으로 부상하는 그러한 이론이었다. 이 구체적인 내용에 대해서는 이 논문 본문의 제 3장을 볼 것.

11) L.P. Williams, *Michael Faraday*, pp. 381—464, esp. pp. 388—391.

12) 윌리엄스는 패러데이의 물질이론이 보스코비치(R.J. Bosovich, 1728—1799)의 ‘질점 원자’(point atom) 물질이론의 영향을 강하게 받았다고 주장했다. L.P. Williams, *op. cit.*, passim을 참조. 물질이론에 관한 견해는 다르지만 패러데이의 자기력선의 형성에 대해 윌리엄스와 관점을 같이 하는 견해에 대해서는 P.M. Heimann, “Faraday’s Theory of Matter and Electricity”, *British Journal for the History of Science*, 5 (1971), 235—57, J. Agassi, *Faraday as a Natural Philosopher* (Chicago, 1971)를 볼 것.

13) 논의를 간편하게 하기 위해 패러데이의 연대표(chronological table)를 만들면 다음과 같다.

1822	전자기 회전 발견
1831	전자기 유도의 발견, 자기력선 개념의 첫 정의
1831~1837	정전기 유도, 전기력의 본질, 전도 등 전기 현상에 대한 집중적 연구
1837	정전기 유도가 원거리 작용이 아니라고 발표
1838	전기 현상에 대한 지금까지의 실험결과를 정리, 전기와 자기에 대한 언급
1838~1845	실험악화, 뚜렷한 연구가 없음(전기, 자기의 분야)
1845	광자기 회전 효과(9월), 반자성체(11월)의 발견
1848	결정 자기 작용에 대한 실험
1849	배버의 주장에 대한 반박 실험(10월)
1850	자기적 전도 이론을 얻어냄
1851	자기력선이 물리적 실재라고 주장

기력선의 실재성을 강하게 해 준 것과 무관한 것으로 분류될 수 있다. 이와는 조금 다른 견해가 구딩(D. Gooding)에 의해 제시되었다.¹⁴⁾ 구딩에 의하면, 자기력선이 자기현상을 설명하는 중심개념으로 부상하게 된 것은 1845년 이후의 작업에서 패러데이가 이것을 점차 중요한 것으로 인식하게 된 것에 기인했으며, 이것의 실재성은 1850년 패러데이가 자기적 전도이론을 얻어내면서 확고해 졌다는 것이다. 구딩은 패러데이 자신이 자신의 사변적인 물질이론과 그에서 연유하는 자기력선의 의미보다는 실제 실험적 사실에 더 큰 비중을 두었음을 바탕으로 해서, 패러데이가 반자성체의 극성을 해결하는 과정에서 자기력선이 중심개념으로 부상하는 자기적 전도이론을 만들었음을 주장했다.

본론에서 필자는 패러데이의 기록에 근거해서 위의 두 가지 견해와는 또 다른 제3의 입장을 표명하겠다. 먼저 필자는 1845년 패러데이가 도입한 자기력선에 이중적 의미가 있었음을 보인 후, 이 이중적 의미 각각이 지닌 한계성이 극복되면서 자기력선이 자기현상을 설명하는 물리적 실재로 부상하게 됨을 보일 것이다. 그리고 이러한 극복의 결정적 계기가 1849년 10월의 실험(구딩의 주장처럼)이 아닌 1850년 이후의 작업에서 가능했음을 보일 것이다. 이와 같은 내용은 본론의 제1, 2, 3장에서 자세히 다루어 질 것이다. 본론의 제4 장에서는 패러데이가 자기력선의 물리적 실재성을 주장하기 위해 수행한 작업을 소개할 것이며 그가 자기력선의 물리적 실재성을 믿었기 때문에 나타난 몇 가지 한계성을 지적하겠다.

본 론

I

1845년 11월, 자기력의 영향을 받아 광자기 회전효과(光磁氣回轉效果)를 나타내는 물질들에 대한 실험을 하던 중, 패러데이는 이런 물질들이 자기력에 의해 직접 영향을 받는다는 것을 발견했다.¹⁵⁾ 보통 자성체의 성질과는 전혀 다른 반자성체(反磁性體)의 성질로부터, 그는 “우리가 지금까지 모르던 새로운 자기적 성질이 물질에 존재한다는 것을 확립했으며”¹⁶⁾ 자기현상도 전기현상, 중력과 마찬가지로 모든 물체에 보편적인 것임을 밝힐 수 있었다. 이제는 대부분의 물질이 자기적 작용에 대해 무관하지 않았으며, 따라서 모든 물질은 자기력에 대해 자성체와 반자성체라는 두 부류로 나누어질 수 있었다.¹⁷⁾ 그러나, 반자성체가 나타내는 새로운 현상은 설명을 필요로 했다. 반자성체가 “지금까지 우리가 모르던 새로운 자기적 작용 또는 물질의 자기적 상태”라면, 이것은 자성체의 분자적 조건과는 전혀 다른 새로운 분자적 조건에 의해 설명되어야 했던 것이다.

보통 자성체와는 달리 반자성체에 고유한 효과는 다음과 같은 것이었다. 먼저, 균일한 자기장 속에서 막대 모양을 한 자성체는 자기력선(磁氣力線)에 평행한 위치에서 안정하지만, 같은 모양의 반자성체는 자기력선에 수직인 방향에서 안정하다는 사실이었다.¹⁸⁾ 그러나, 이것은 다음과 같은 현상

14) D. Gooding, “Conceptual and Experimental Bases of Faraday’s Denial of Electrostatic Action at a Distance”, *Studies in History and Philosophy of Science*, 9 (1978), 117–149; “Final Steps to Field Theory; Faraday’s Study of Magnetic Phenomena, 1845–1850”, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 11 (1981), 231–75.

15) “On the New Magnetic Actions, and on the Magnetic Condition of All Matter” (1845.12), *ERE*, Vol. 3, Series 20, esp. (2254)(2257)(2259–2262); B. Martin ed., *Faraday’s Diary*, 7 Vols. (London, 1932–1936), esp. (7902)(이 책은 이후 *Faraday’s Diary* 로 인용하며, 이것을 인용할 때는 페이지가 아닌 고유번호를 인용할 것임).

16) *ERE*, Vol. 3 (2286).

17) *ERE*, Vol. 3 (2420).

18) *ERE*, Vol.3 (2254–2258); *Faraday’s Diary* (8038)(8059)(8081).

에 비해서는 덜 근본적이고, 이것으로부터 연역되는 것이었다. 자성체와 반자성체의 가장 뚜렷하고 근본적인 차이점은 보통 자성체가 자석의 극(極)에 의해 인력을 받으나 반자성체는 척력을 받는다는 점이었다.¹⁹⁾ 이러한 두 가지 상이한 효과를 설명하기에 가장 유용한 수단은 앙페르의 ‘전기적분자’(electrodynamic molecules)의 방법을 사용하는 것이었다. 예를 들어, 만일 자기적 유도²⁰⁾(磁氣的誘導: magnetic induction)가 자성체의 분자에 야기시키는 상태와 정반대의 상태를 반자성체의 분자에 야기시킨다면, 반자성체와 자성체의 상이한 효과는 설명될 수 있었다.²¹⁾ 즉, 앙페르의 이론에 의하여, 자기력의 영향을 받는 보통 자성체에서는 그것의 전기적 분자 주위에 유도되는 유도전류(induced current)가 자석 내부의 전류와 평행한 방향이나, 비스무스(bismuth)와 같은 반자성체에서는 자석 내부와는 반대 방향의 유도 전류가 형성된다고 간주할 수 있었다.²²⁾

그렇지만 패러데이는 물질의 분자적 조건에 의해 반자성체의 특성을 설명하려는 시도를 이 이상 더 깊이 진행시키지는 않았다. 왜냐하면, 무엇보다도 그에게 앙페르의 “전기적 분자들 주위에 유도되는 전류”는 실험적 사실이 아닌 가설(假說)의 범주에 속하는 것이었기 때문이다. 그에게 이론적 가설이 차지하는 위치는, “비록 이것이 매우 철학적으로 믿음직해도 실험에 의해 증명되기 전까지, 그것을 옳은 것이라거나 잘못된 것이라고 말할 수 없는” 것이었다.²³⁾ 이런 의미에서 앙페르의 이론은 실험에 의해 검증되어야만 했다. 그런데, 패러데이 자신의 실험결과에 의하면 자성체, 반자성체의 유도전류는 물질을 구성하는 입자 주위가 아닌 물질 그 자체(mass of matter)에 형성되는 것이었으며, 자성체, 반자성체에 관계없이 다 같은 방향이었다.²⁴⁾

앙페르의 이론을 통한 설명 외에 그는 한 가지 다른 가능성에 대해서도 고려해야 했다. 비록 “자기력이 자성체와 반자성체에 가하는 작용의 차이가 너무나 분명할지라도”, 자기적 작용과 반자기적 작용이 궁극적으로 동일한 작용일 가능성을 배제할 수 없었다. 패러데이는 농도가 16%, 4%, 1% 인 염철용액(鹽鐵溶液: solutions of the ferruginous salt)을 만들어 이것들을 각각 매질로 사용해서 실험하던 중 반자성체의 성질에 관한 새로운 현상을 발견했다. 이것은 다음과 같은 것이었다. 이 세 가지 다른 농도의 용액은 모두 자성체였기 때문에 자기장 속에서 인력을 받아야 했다. 그런데, 약한 농도의 용액이 든 튜브를 강한 농도의 용액의 매질 속에 넣었을 때——16% 용액 속에 4% 또는 1% 용액이 든 튜브를 넣은 경우: 4% 용액 속에 1% 용액이 든 튜브를 넣은 경우——이 튜브는 모두 자석의 극으로부터 멀어졌던 것이다.²⁵⁾ 패러데이의 설명에 의하면, 이것은 튜브 속에 든 물질이 자기력에 대해 직접 척력을 받기 때문이 아니라, 이것이 주위의 물질에 비해 힘을 덜 받기 때문이었다.²⁶⁾ 그렇다면 어떤 물질이 자성체인가 또는 반자성체인가 하는 것은, 단지 그 물질과 주위매질과의 자기적 작용의 차이에 기인한다고 결론지을 수 있을까?

그러나, 패러데이는 이러한 결론이 자신의 다른 실험결과와 일치하지 않는다는 사실을 인식하고 있었다. 위와 같은 결론——자기적 작용과 반자기적 작용을 물체와 주위 매질과의 자기적 특성의 차이로 설명하는 것——에 의하면, 비스무스와 같은 반자성체는 공기에 비해 그 자기적 특성이 적

19) *ERE*, Vol. 3 (2259—2266); *Faraday's Diary* (8109—8111).

20) 여기서 자기적 유도는 전자기 유도가 아닌 자화(磁化)를 의미하는 것이다.

21) *ERE*, Vol. 3 (2429).

22) *ERE*, Vol. 3 (2430).

23) “On the Diamagnetic Conditions of Flame and Gases”, *Philosophical Magazine*, 31 (1847), *ERE*, Vol. 3, pp. 467—490, esp. p. 488; 패러데이가 실험을 통한 연구방법의 우위를 주장한 점에 대해서는 D. Gooding, “A Convergence of Opinion on the Divergence of Lines”, *Notes and Records of the Royal Society of London*, 36 (1982), 243—259, esp. pp. 246—248을 참조할 것.

24) *ERE*, Vol. 3 (2431); “On the Polar, or Other Condition of Diamagnetic Bodies”. *ERE*, Vol. 3, Series 23은 이 점을 실험적으로 판별하기 위해서 켜어 졌다.

25) *ERE*, Vol. 3 (2365—2367); *Faraday's Diary* (8057—8059)(8330—8349).

26) *ERE*, Vol. 3 (2438).

기 때문에, 공기 중에서 반자성체의 특성을 나타냈으며 척력을 받았던 것이다. 따라서, 공기를 점점 희박하게 함으로써 공기의 자기적 특성을 약화시켜 이것을 비스무스의 자기적 특성보다 더 적게 한다면, 비스무스는 이런 희박한 공기 속에서 완전한 자성체의 특성을 나타내야만 했다.²⁷⁾ 그러나, 실험결과와는 이와 달랐다. 비스무스는 희박한 공기 속에서건, 진공 속에서건 척력을 받았다.²⁸⁾ 즉, 공기의 희박한 성질에 무관하게 반자성체는 그대로 반자성체였던 것이다. 어떤 물질도 존재하지 않는 진공에 대해 자기력이 유도전류를 형성할 수 없음은 너무도 분명한 사실이었기 때문에, 진공과 공기라는 기체가 자기력에 대해 모두 동일한 관례를 갖는다는 것을 인정하기 어려웠다. 더욱, 이것을 실험적 사실로 받아들인다 할지라도, 아무것도 존재하지 않는 진공이 비스무스보다 자기적 특성이 강하다고 상정하는 것이 어떤 물리적 의미를 지닐 수 있었겠는가?

이것은 분명히 진퇴양난(進退兩難)의 상황이었다. 자기적 작용과 반자기적 작용이 서로 상이한 관계에 있는 것임을 보이기 위해서는 물질의 내부 조건——마치 앙페르의 이론처럼——을 고려해야만 했는데, 이것은 실험적 사실이 아니라 이론적 가설의 영역이었고 실험 사실과는 잘 부합하지도 않았다. 반면에 이것의 차이가 물체와 매질의 자기적 특성의 차이에만 기인한 것——마치 염철용액의 경우처럼——이라는 생각은, 진공과 기체가 동일하게 작용하며 이것들이 반자성체 물질보다 더 큰 자기적 특성을 가지고 있음을 인정해야 했다.²⁹⁾ 패러데이 에 있어서 후자의 모든 것을 가정한다는 것은, 자기적 작용과 반자기적 작용이 서로 상이한 작용이며 진공, 기체는 각각의 작용에 “원점(zero point)——자기적 영향과 무관해서, 자기적 상태나 반자기적 상태 중 어떤 것도 택하지 않는 물질——을 형성한다는 가정을 인정하는 것보다 훨씬 비합리적인 것이었다.³⁰⁾ 비록 그가 이 당시에 어느 하나의 입장을 뚜렷이 선택하지는 않았지만, 그의 입장이 전자에 더 가까웠음은 분명히 볼 수 있다. 그에 의하면 “따라서 현재로는……나는 전자의 입장에 가까우며, 결과적으로 반자성체는 보통 자기적 작용과는 상반적으로 상이한(antithetically distinct) 작용을 가진다는 관점에 더 가까운 것이다.”³¹⁾

그렇지만, 비록 물질의 미시적 상태를 통한 설명이 어려웠을지라도, 반자성체의 거시적 운동에 대한 일반적 법칙의 서술은 가능했다. 오히려, 패러데이가 실험 결과를 해석함에 있어서 중요하게 생각했던 것은 미시적 메카니즘보다는 현상 자체를 서술해 주는 일반 법칙이었다.³²⁾ 그렇다면 반자성체의 운동에 대한 일반적 법칙은 무엇인가. 패러데이는, 자성체 입자들이 자기력선의 방향으로 운동함에 반해 반자성체 입자들은 자기력선을 따라 움직이기도 하고 이것을 가로질러 움직이기도 하는 것을 발견했다. 처음에 그는 반자기력선(diamagnetic curves) 개념을 도입해서 이 현상을 설명하려 했으나,³³⁾ 이것이 물리적으로 거의 의미가 없음을 인식하고 이것의 사용을 곧 그만두었다. 반자기력선이 의미를 지니기 위해서는 반자기력(反磁氣力)이 독립적으로 실재하는 것이어야 하는데, 패러데이는 반자기적 작용이 자기력과 물체와의 상호작용에 기인한 것이지 물체의 고유한 힘의 효과가 아님을 인식하고 있었다. 따라서, 반자성체의 운동을 나타내 주는 일반법칙도 이런 범주에서 벗어나지 않는 것이어야 했다. 패러데이는, 자성체가 자기적 작용이 약한 곳에서 강한 곳으로 움직임

27) *ERE*, Vol. 3 (2408).

28) *ERE*, Vol. 3 (2409); *Faraday's Diary* (8364)(8371).

29) 패러데이의 이러한 갈등에 대해서는 *ERE*, Vol. 3 (2436—2438)과 (2439—2440)을 비교해 볼 것.

30) 이 문제는 1850년에 이르러서야 그 완전한 해답을 구할 수 있게 되었다. *ERE*, Series 25, “On the Magnetic and Diamagnetic Condition of Bodies” esp. (2787—2790)을 볼 것.

31) *ERE*, Vol. 3 (2440).

32) 이러한 패러데이의 특성은 결정자기작용(結晶磁氣作用: magne-crystallic action)에 대한 패러데이의 연구에서도 잘 나타난다. 이 점에 대해서는 *ERE*, Vol. 3 (2584—2591)을 참조할 것.

33) 반자기력선에 대한 패러데이의 언급은 *ERE*, Vol. 3 (2270)에 나타나 있다.

에 반해, 반자성체는 자기적 작용이 강한 곳에서 약한 곳으로 움직인다는 것을 발견했으며,³⁴⁾ 이런 현상은 반자성체의 미시적 메카니즘에 무관하게 존재하는 것이었다. 이 법칙——반자성체의 운동이 자기적 작용이 강한 곳에서 약한 곳으로 일어난다는 것——은 반자성체에 관해 부정할 수 없는 유일한 법칙이었으며, 이 후 반자성체에 대한 패러데이의 연구의 기초로 작용했다.³⁵⁾

II

반자성체의 특성에 관한 그의 연구는 그의 자기력선 개념의 형성과 밀접한 관련이 있으나, 이에 대한 더 자세한 논의는 본론의 제 3 장으로 미루고, 여기서는 관심의 초점을 1845년 그가 정의한 자기력선 개념에 맞추어 보기로 한다.

1837년 패러데이는 정전기 유도가 원거리 작용이 아니라 인접한 입자들에 의한 작용임을 발표했다.³⁶⁾ 여기서, 그는 이 인접한 입자³⁷⁾들이 모여서 나타내는 가상적인 역선을 유도력선(誘導力線: line of inductive forces)이라고 명명했으며,³⁸⁾ 정전기력은 이 유도력선을 통해 한 입자에서 다른 입자로 연속적으로 전달되는 것이라고 주장했다. 유도력선을 정의하면서, 그는 정전기력의 방향이 직선이 아니라 휘어진 곡선임을 주장하기 위해 이것과 자기력선과의 유비를 제시했다. 그에 의하면 “유도력선, 휘어진 역선(curved lines of force)이란 어구가 의미하는 것은, 우리가 자기력선이란 말을 사용할 때 이것이 의미하고 있는 것 정도의 일반적인 표현”인 것이었다.³⁹⁾

그가 유도력선을 정의하면서 자기력선의 유비를 생각한 이유는 명백했다. 이것은 자기력선의 가시성(可視性) 때문이었다. 1831년 패러데이는 전자기 유도——움직이는 도선이 자석 주위의 자기력선을 교차하면 그 도선에 전류가 흐르는 현상——를 발견하고, 이 현상에 대한 일반적인 법칙을 내놓으면서 공식적으로는 자기력선이라 표현을 처음으로 언급했다. 그는 이때 “자기력선은 철가루(iron filings)에 의해 그려지는 선, 또는 작은 자석바늘이 접선으로 위치하는 그러한 선을 의미한다”고 이것을 정의했다.⁴⁰⁾ 보통 막대 자석에서는 그것은 자석의 한 극에서 나와 다른 한 극으로 들어가는 모양을 이루었고, 전류가 흐르는 도선 주위에서는 동심원의 형태를 나타냈다. 이상에서 보듯이, 자기력선의 휘어진 곡선 형태는 철가루의 배열모양으로부터 쉽게 알 수 있었다. 1837년 패러데이가 유도력선을 정의하면서 자기력선과의 유비를 생각했던 이유는, 유도력선이 휘어진 곡선이라는 것을 주장하기 위해 가시적으로 분명히 눈에 띄는 자기력선과 비교하는 목적에서였다.

그러나, 이 둘 사이의 유비는 완벽한 것이 아니었다. 왜냐하면, 정전기 유도력(inductive force of

34) 이 일반 법칙에 관한 논의에 대해서는 *ERE*, Vol. 3 (2267)(2269)(2300)(2303)(2418)(2438)을 볼 것.

35) 이 일반 법칙은 *ERE*, Series 28, 29 (1852)에서도 그대로 사용되었다.

36) *ERE*, Vol. 1, Series 11, “On Static Induction” (1837.11), (1161) ff.: *Faraday's Diary* (4029)(4092)(4105)를 참조할 것. 1837년 패러데이가 원거리 작용을 부정한 배경에 대해서는 L.P. Williams, *Michael Faraday*, pp. 283—299를 볼 것. 여기서 윌리엄스는 이것의 큰 요인 중 하나를 패러데이가 보스코비치의 물질이론을 받아들이고 있었다는 점에서 찾고 있다. 이에 대한 비판으로는 J.B. Spencer, “Boscovich's Theory and its Relation to Faraday's Research,” *Archive for History of Exact Sciences*, 4(1967), 184—202, 또는 P.M. Heimann, “Faraday's Theories of Matter and Electricity” (註 12 참조), esp. pp. 235—243을 볼 것. D. Gooding은 패러데이가 힘의 개념을 입자들 간에 존재하는 극성적 관계로 파악하게 되었음을 주장하고 있다. D. Gooding, “Conceptual and Experimental Bases of Faraday's Denial of Electrostatic Action at a Distance” (註 14 참조)를 볼 것.

37) “여기서 인정한 입자라는 표현은 서로에 접한 입자라는 뜻이 아니라, 바로 옆에(next)있는 입자라는 뜻이다,” *ERE*, Vol. 1, p. 364 note 참조.

38) *ERE*, Vol. 1 (1231).

39) *ERE*, Vol. 1 (1304).

40) *ERE*, Vol. 1 (114).

static electricity)은 유전체(誘電體 · dielectrics) 입자에 의해 휘어진 선을 통해서 작용하는 것이나⁴¹⁾ 자기력의 작용에서는 이와 같은 매개입자들이 발견되지 않았기 때문이었다.⁴²⁾ 1838년까지 패러데이의 실험과 이로부터 이끌어낸 결론에 의하면, 극성력(極性力 : polar force)은 인접한 입자들에 의해 매개되는 것이었다. 단지 자기력만이, 이것이 분명히 극성력임에도 불구하고, 이러한 입자와 무관했던 것이다. 그러나 극성력이 인접한 입자들 사이의 작용이란 것은, 1838년 당시 패러데이에게 가장 중심적인 이론이었기 때문에, “비록 지금까지의 실험에서 이러한 입자들이 발견되지 않았을지라도, 자기력을 매개하는 입자가 존재하지 않는다고 성급히 결론지어서는 안되는 것이었다.”⁴³⁾

1845년 패러데이가 광자기 회전효과를 발견하고 이 현상을 나타내는 물질을 ‘dimagnetic’으로 명명했던 것은 이것과 유전체(dielectrics)간의 명백한 유비를 설정하려 했던 그의 입장을 잘 나타내준다.⁴⁴⁾ 반자성체의 분자적 조건은 자화(磁化)된 철이 가지는 분자적 조건과는 명백히 구별되는 ‘새로운 자기적 조건’이었으며, 이는 마치 도체와는 전혀 다른 유전체의 새로운 전기적 조건을 발견했던 것과 유사했다.⁴⁵⁾ 반자성체 입자들은 “이것을 통하여 자기력을 전달시키는 분자적 조건을 자기력으로부터 취하고 있었기에,” 바로 반자성체가 1837년 당시 패러데이가 발견하지 못했던 자기력의 매개입자일 가능성이 존재했던 것이다. 그의 이런 생각은 다음 구절에서 잘 나타난다.

내가 이전에 제시했던 정전기 유도의 이론——힘의 전파가 두 물체 사이의 연속적인 유전체 입자들의 작용에 의존하는 것——은 나로 하여금 자기적 작용에서도 똑 같은 종류의 매개입자가 존재하는가에 대해 생각하게 했다. 그 당시에는 나는 특별한 매개물질 즉, 반자성체를 발견하지 못했다. 그러나, 지금은 이런 상태를 판별할 수 있게 되었다.⁴⁶⁾

이 점은 1845년 패러데이가 정의한 자기력선의 의미를 밝히는 데 중요한 열쇠가 될 수 있다. 1845년 패러데이가 광자기 회전효과를 설명하기 위해 자기력선이란 개념을 사용했을 때, 그는 이것을 자기적 작용을 가시화시켜 그 방향을 표시하는 개념적 도구로 사용했다. 이것은 1831년 그가 전자기 유도현상을 설명하기 위해 자기력선의 개념을 도입한 것이나, 1838년 정전기력선을 명확히 하기 위해 자기력선의 개념을 도입한 것의 연장선상에 위치하는 것이었다. 그렇지만, 그는 자기력선이 반자성체 입자들의 연속에 의해 자기력을 전파하는 것일 수도 있다는 가능성을 동시에 가지고 있었던 것이다.

패러데이는 1852년 자기력선이 자기력을 전파하는 물리적 실재임을 강하게 주장했다. 여기서 문

41) *ERE*, Vol. 1 (1164), (1666) : 그는 유전체를 “전기력이 통과하거나 교차함으로써 작용하는 물질”이라고 정의했다. *ERE*, Vol. 1, p. 364 note를 참조할 것. 패러데이의 이와 같은 주장에 대한 가장 대표적인 반론으로는 R. Hare, “A Letter to Prof. Faraday on Certain Theoretical Opinions,” *American Journal of Science and Arts*, 38 (1840), *ERE*, Vol. 2, pp. 251—261을 볼 것. 이에 대한 패러데이의 반론으로는 “An Answer to Dr. Hare’s Letter on Certain Theoretical Opinions,” *ERE*, Vol. 2, pp. 262—276 또는 “A Speculation Touching Electric Conduction and the Nature of Matter,” *London and Edinburgh Philosophical Magazine*, 24 (1844), *ERE*, Vol. 2, pp. 284—293이 있다.

42) “이러한 결과들은……(자기력에 있어서는) 매개물질이 이 현상과 무관한 것이라는 결론으로 이끌었다” *ERE*, Vol. 1 (1726).

43) *ERE*, Vol. 1 (1727).

44) 패러데이는 처음에 반자성체를 dimagnetic 이라고 명명했으며, 이것을 휴얼(W. Whewell, 1794—1866)에게 편지로 알렸다. 그런데, 휴얼은 dielectric에서 di-는 dia(through)가 모음이 중복되기 때문에 줄여든 형태이며, 따라서 반자성체는 diamagnetic으로 명명되어야 한다고 주장했다. 이 점에 대해서는, “Faraday to Whewell” (1845, 12. 8) : “Whewell to Faraday” (1845, 12. 10), in L. P. Williams ed., *The Selected Correspondence of Michael Faraday* (Cambridge, 1971), pp. 467—469를 참조할 것(이후에는 이것을 *Selected Correspondence*로 약해서 사용한 것임).

45) *ERE*, Vol. 1 (1168).

46) *ERE*, Vol. 3 (2240).

제가 되는 것은 왜 그가 1852년에 이르러서야 이 점을 주장했는가, 즉 1845년에도 그는 분명히 이런 가능성을 인식하고 있었음에도 불구하고 왜 1850년에 이르기까지 자기력선이 단지 자기력의 방향만을 의미하는 것이라고 주장했는가 하는 점이다.⁴⁷⁾

1845년 당시 패러데이가 자기력선이 반자성체 입자들의 연속에 의해 자기력을 전파시키는 그러한 역선임을 보이는 데 성공적이지 못한 것은 두가지 이유 때문이었다. 첫번째는, 반자성체가 자기력을 통과시키는 역할을 하는 것이 아니라, 자기력에 의해 직접 척력을 받아 움직인다는 사실을 발견한 것이었다.⁴⁸⁾ 인력이 아닌 척력을 받는다는 점 때문에, 이것이 보통 자기적 작용과는 구별될 수 있었지만, 그럼에도 불구하고 자기력의 영향을 받아 움직인다는 점에서 넓은 의미의 자기적 작용이었다.⁴⁹⁾ 따라서 반자성체와 유전체와의 유비는 자연스러운 것이 못되었다.

두번째 문제는, 매질의 문제였다. 정전기 현상의 설명에서 패러데이는 진공 속에서의 정전기 유도 현상이 인접한 입자들에 의한 정전기력의 전파라는 자신의 이론과 모순이 되지 않는다고 주장했다.⁵⁰⁾ 왜냐하면, 그가 확립하려 했던 것이 진공 속에서 나타나는 정전기 유도 현상을 부정하는 것이 아니라, 이 공간이 진공이 아닌 매질로 채워져 있을 때는 이것이 인접한 입자들의 연속적 작용에 의해 일어난다는 것이었기 때문이다.⁵¹⁾ 이러한 추론에서는 정전기력선이 분명한 의미를 지닐 수 있었다. 즉, 정전기력선의 휘어진 형태는 매질 입자의 작용에 의한 것이었다. 패러데이의 이러한 생각은 점점 확실해졌으며, 1846년에 그는 “물질의 매개 입자들이 존재하는 경우에는 힘이 입자들의 작용에 의해서 역선을 통해 전달되지만, 이런 입자들이 존재하지 않는 경우에는 역선은 공간 속에서 직진한다”고 언급했던 것이다.⁵²⁾ 결론적으로, 자기력이 자기력선을 통해 전파되는 것이라면, 자석주위의 공기를 회박하게 할 때 자기력선은 휘어진 역선에서 직선으로 바뀌어야만 했다. 그러나 자기력이 매질과 무관하게 동일하게 작용하며, 자기력선의 형태가 공기 속에서나 진공 속에서나 동일하게 휘어 있다는 것은 실험을 통해 쉽게 확인되는 것이었다.⁵³⁾

이러한 문제가 패러데이로 하여금 자기력선 개념을 자기현상을 설명하는데 다양하게 사용하지 못하게 한 것들이었다. 그가 ‘자기력선에 평행한 빛의 방향’, ‘자기력선에 수직에 가까운 빛의 방향’과 같은 표현 속에서 사용한 자기력선의 개념은 단지 자기적 방향만을 의미하는 것이었다.⁵⁴⁾ 이것은 자기력의 세기와는 무관한 하나의 개념적 도구에 지나지 않았다. 그가 반자성체 운동의 일반 법칙을 “이것이 자기적 작용이 더 강한 부분에서 약한 부분으로 가려는 경향이 있다는 것”이라고 설명했을 때에도 그는 ‘자기적 작용이 강한 곳’, ‘자기적 작용이 약한 곳’이 무엇인가에 대해서는 전혀 언급이 없었을 뿐만 아니라, 자기적 작용의 세기와 자기력선을 연결시키는 시도도 전혀 하지 않

47) 예를 들어, *ERE*, Vol. 3, Series 23, “On the Polar or Other Conditions of Diamagnetic Bodies” (1850.

1) (2701)에서 패러데이는 자신이 사용하는 자기력선이 단지 자기적 작용의 방향만을 나타내는 것이라고 이것의 의미를 제한하고 있다.

48) *ERE*, Vol. 3, Series 20, 21, “On the New Magnetic Actions, and on the Magnetic Condition of All Matter” (1845. 12).

49) *ERE*, Vol. 3 (2286)(2443).

50) 패러데이의 이와 같은 주장은 1845년에 이르기까지 계속되었다. *ERE*, Vol. 3 (2446)을 볼 것.

51) 그는 진공 속에서의 정전기 유도는 잘 알려진 역자승 법칙에 의한다고 분명히 언급했다. *ERE*, Vol. 1 (1615)(1616)을 볼 것.

52) “Thoughts on Ray-Vibrations,” *Philosophical Magazine*, 28 (1846), *ERE*, Vol. 3, pp. 447—452. esp. pp. 451—452를 참조.

53) 1845년 패러데이가 진공 속에서 철가루를 사용해서 자기력선의 모양을 확인했다는 실험에 대한 직접적 증거는 발견할 수 없었다. 그러나, 진공 속에서의 반자성체의 작용을 확인하는 과정에서, 자기력선은 진공 속에서도 전혀 변하지 않는다는 것을 발견했으리라는 것은 쉽게 상정할 수 있다. 진공속에서의 자기력의 특성에 대한 실험에 대한 패러데이의 언급은 *ERE*, Vol. 3 (2400—2404)(2408—2409)(3075)(3277)을 참조할 것.

있던 것이다.⁵⁵⁾

III

제 2 장에서는 1845년 패러데이가 사용한 자기력선 개념의 의미에 대해서 살펴보았으며, 그가 이 개념을 충분히 발전시키는 데 저해가 되었던 몇 가지 이유들을 언급했다. 이런 문제점들이 궁극적으로 내포했던 점은 자기력이 분명히 극성력이면서도 다른 극성력이 만족하는 여러 특성을 그대로 따르지 않는다는 것이었다. 이제부터는 이런 문제점이 해결되면서 동시에 자기력선이 자기현상을 설명하는 중심 개념으로 부상하는 과정을 서술하고자 한다.

1847년 9월 이탈리아의 물리학자인 반칼라리(M.A. Bancalari)는 불꽃이 자석에 의해 영향을 받는다는 것을 발견했으며, 잔테데쉬(F. Zantedeschi, 1797—1873)는 이 사실을 패러데이에게 알렸다.⁵⁶⁾ 패러데이는 불꽃이 자기력의 영향을 받아 나타내는 성질이 다름아닌 이것의 반자기적 성질임을 쉽게 파악할 수 있었으며, 곧 이 실험을 기체까지 확장시켜 자기력에 의해 어떤 영향도 받지 않는다고 인식되던 기체들이 대부분 반자성체임을 입증할 수 있었다.⁵⁷⁾ 이 실험 결과 기체와 진공이 동시에 원점(zero point)이 될 수 없다는 것은 분명해졌으며, 이것은 참된 원점이 진공일 것이라는 1845년 이후의 그의 믿음을 입증하는 것이었다.⁵⁸⁾ 많은 기체가 반자성체의 영역으로 분류되고, 진공이 원점이라는 믿음이 강해지면서, 패러데이는 그 이전보다 더욱 자기적 작용과 반자기적 작용을 서로 상이한 별개의 작용으로 파악하게 되었다. 예를 들어, 자성체와 반자성체가 자기장 속에서 취하는 위치는 자기력의 분포와 실험하는 물질에 따라 불규칙적으로 변한다는 베케렐(A.E. Becquerel, 1820—1891)의 반론에 대해, 패러데이는 “진공이 자기적 영향에 무관하다고 했을 때, 자성체는 진공 속에서 인력을 받고 반자성체는 척력을 받는다”라고 이 둘의 차이가 분명함을 주장했다.⁵⁹⁾ 진공이 원점이라는 믿음이 강해지면서 이러한 생각은 더 큰 뒷받침을 얻을 수 있었던 것이다.

한편, 독일의 플뤼커(J. Plücker, 1801—1868), 라이히(F. Reich, 1799—1882)는 모두 패러데이의 반자성체의 발견에 영향을 받아 이것을 결정자기 작용(結晶磁氣作用 : magnecrystallic action)이라는 새로운 현상에까지 확장시켜 실험한 결과, “반자성체는 보통 자성체의 극성(極性)과는 정반대의 역방향의 극성(逆方向極性)을 가지고 있다”는 결론을 유도한 바 있었다.⁶⁰⁾ 패러데이는 비스무스 결정

54) 예를 들어, *ERE*, Vol. 3 (2159)를 볼 것.

55) 1851년 이후에야 패러데이는 자기력선을 다시 정의하면서, 자기력선이 자기적 작용의 방향만이 아닌 그것의 크기로 나타내 준다고 주장하게 된다. *ERE*, Vol. 3, Series 28, “On Lines of Magnetic Force: Their Definite Character: and their Distribution within a Magnet and through Space,” esp. (3071)(3074)를 볼 것.

56) F. Zantedeschi, “On the Motions Presented by Flame under the Electromagnet Influence,” 이 보고서는 *ERE*, Vol. 3, pp. 490—493에 수록되어 있다.

57) “On the Diamagnetic Conditions of Flame and Gases,” *Philosophical Magazine*, 31(1847), *ERE*, Vol. 3, pp. 467—490; 그는, “왜 자신이 몇 년 전에 이 사실을 발견하는 데 실패했을 가를 알 수 없을 정도였다”, *ibid.*, p. 467.

58) 패러데이의 이러한 믿음에 대해서는 *ERE*. (2237), 또는 “On the Magnetic Affection of Light, and on the Distribution between the Ferromagnetic and Diamagnetic Conditions of All Matter,” *Philosophical Magazine*(1846), *ERE*, Vol. 3, pp. 453—466, esp. p. 465를 볼 것.

59) *Ibid.*, p. 465.

60) J. Plücker, “On the Repulsion of the Optic Axis of Crystals by the Poles of a Magnet” (1847.10); “Experimental Researches on the Action of the Magnet upon Gases and Liquids” (1848.3), in R. Taylor and W. Francis eds, *Scientific Memoirs* (London, 1837—1852), pp. 368—382, 553—578; F. Reich, “Versuche über die abstossende Wirkung eines Magnetpoles auf unmagnetische Körper,” *Poggendorff's Annalen*, 73 (1848), in *Philosophical Magazine*, 34 (1849). 본 논문에서는 L.P. Williams, *Michael Faraday*, pp. 407—435, passim; D. Gooding, “Final Steps to Field Theory,” pp. 253—264 passim에서 재인용

이 나타내는 새로운 작용에 대한 플뤼커의 실험 결과를 다시 확인하는 과정에서 두 가지 결론을 유도할 수 있었다. 먼저 패러데이는 이런 실험에서 반자성체가 역방향의 극성을 가져야 한다는 결론이 자연스럽게 유도되지 않음을 발견했다.⁶¹⁾ 비록, 결정체가 나타내는 작용은 지금까지 알려져 있지 않았던 새로운 자기작용임이 분명했지만, 패러데이에 의하면 이것은 극성력이 아닌 원거리 작용이었으며, 궁극적으로 결정 내부의 결정력(結晶力: crystalline force)과 자기력의 상호작용에 기인하는 것이었다.⁶²⁾ 결정내부에 결정력이 존재한다는 것은 결정내부의 규칙성을 생각할 때 타당한 것이었으나, 불규칙한 보통 자성체나 반자성체 속에 이와 유사한 힘이 존재한다고 가정하기 어려웠던 것이다.⁶³⁾ 패러데이는 이러한 두 가지 작용이 궁극적으로 하나의 근원을 가진다고 언급했지만, 반면에 이것들의 차이점을 명확히 인식하고 있었다. 즉, 반자성체의 상태는 유도에 의한 잠정적인 상태임에 반해 결정이 가지고 있는 상태는 자연적이며 영원한 상태였던 것이다.⁶⁴⁾

두번째 결론은, 결정이 나타내는 운동에 대한 일반 법칙이었다. 패러데이는 자기장 속에서의 비스무스 결정이 그것의 모양과 무관한 하나의 운동법칙을 만족함을 발견했다. 이것은, 비스무스 결정이 그것을 통과하는 자기력선에 자신의 결정자기 축(axis of magneocrystallic force)이 평행하게 위치하는 방향에서 항상 안정하다는 것이었다.⁶⁵⁾ 이러한 법칙은 결정체의 미시적 메카니즘을 문제삼지 않고, 거시적 현상에 대한 서술에 가깝다는 점에서 반자성체의 운동에 대한 패러데이의 법칙과 유사했지만, 후자에는 없는 한 가지 문제를 내포하고 있었다. 이것은 이 법칙이 자기력선 개념을 사용함으로써 가능하다는 것이었다. 만일, 자기력선이 자기력의 방향만을 나타내 주는 개념적 도구에 불과하다면 위의 일반 법칙이 어떤 물리적 의미를 지닐 수 있었겠는가. 즉, 자기력선과 결정자기 축이 평행한 상태에서 결정이 안정하다는 것의 물리적 근거가 무엇인가 하는 점이 문제가 되었던 것이다.

물론, 패러데이 자신도 이 점을 인식하고 있었다. 그는 “진리일지도 모르는 또 다른 관점을 제시하면서” 자기력선이 빛이나 열과 유사해서 이것이 물체를 통과하는 데 어려움을 겪으며, 따라서 이 자기력선은 결정체속을 결정자기 축과 평행한 방향으로 더 자유롭게 통과할지도 모른다고 주장했다.⁶⁶⁾ 그에 의하면, 이런 경우에는 자기장 속에서 결정의 결정자기 축을 자기력선과 평행하게 되도록 하는 위치가 가장 적은 저항을 받는 위치였다.⁶⁷⁾

윌리엄스와 구딩은 모두 패러데이가 이 실험의 결과 자기력선의 존재를 확인하는 쪽으로 한 걸음 더 나아갔음을 주장하고 있다.⁶⁸⁾ 그러나, 조금 더 정확히 말하자면, 패러데이는 1845년 이후 그 어느 때보다도 자기력선이 지니는 물리적 의미에 대해 판단을 내리기 어려운 상황에 처하게 되었다. 결정자기 작용이라는 새로운 현상을 설명하기 위해 자기력선 개념을 사용했고, 이것에 실재성을 부여해야만 하는 상황에 처해 있었지만, 1845년 당시 패러데이로 하여금 자기력선의 실재성을 주장하지 못하게 한 요인들은 아직 하나도 해결되지 않은 상태였다. 따라서, 그는 자기력선 개념을 결정체 이외의 자성체나 반자성체에 적용시키려는 시도를 전혀 하지 못했으며, 결정체와 자기력선의 연

패러데이와 플뤼커와의 논쟁에 대해서는 *Selected Correspondence*, Vol. 1, pp. 511-12, 513-14, 520-21, 524-25, 526-27, 536-37, Vol. 2, 541-48, 550-51, 561-62를 참조할 것.

61) *ERE*, Vol. 3 (2426)(2497).

62) 이 당시 패러데이에게 중력 작용과 결정자기 작용 두 가지만이 원거리 작용으로 분류되는 것이었다. *ERE*, Vol. 3 (2470)(2472)(2479)(2550)(2584)를 볼 것.

63) *ERE*, Vol. 3 (2577).

64) 패러데이는 결정이 가지는 이러한 상태를 반자성체의 ‘polarity’와 구별해서 ‘axiality’라고 명명했다.

65) *ERE*, Vol. 3 (2479).

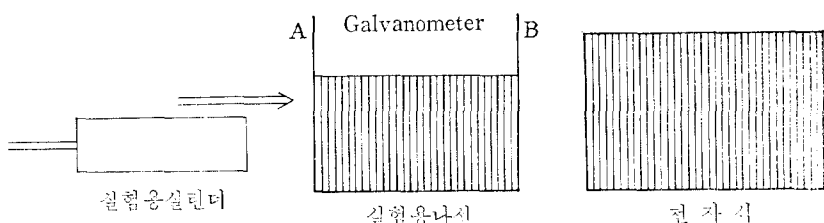
66) *ERE*, Vol. 3 (2591).

67) *Ibid.*

68) L.P. Williams, *Michael Faraday*, p. 419; D. Gooding, “Final Steps to Field Theory,” p. 258.

판에 대해서도 위에서 언급한 정도 이상의 어떠한 노력도 하지 않았던 것이다.⁶⁹⁾

자기력선 개념에 대해서는 아직도 불확실한 상태로 남아 있었지만, 이 실험을 통해 패러데이는 반자성체가 역방향의 극성을 가진다는 것에 대해서는 더 회의적인 입장을 취하게 되었다.⁷⁰⁾ 왜냐하면, 그 동안의 어떤 실험도 분자적 극성이라는 가설을 증명하지 못했을 뿐 만 아니라, 오히려 실험 결과는 항상 자기적 유도를 의미하고 있었기 때문이었다.⁷¹⁾ 따라서 패러데이가 자기적 작용, 반자기적 작용을 서로 다른 전하로 구성된 두가지 반대 방향의 전기적 유체로 설명한 베버의 논문⁷²⁾을 접한 뒤, 반자성체의 작용이 역방향의 극성에 기인한 것인가, 또는 물질에 유도되는 유도전류에 의한 것인가를 직접 검증하는 결정적 실험을 고안한 것은 거의 당연했던 것이다.⁷³⁾



이 실험은 다음과 같은 것이었다. 그림에서와 같이, 실험용 실린더가 실험용 나선 안으로 진입하면 전자석에 의해 형성되었던 자기력선이 실험용나선을 교차함으로써 검류계(檢流計 : galvanometer)에 전류가 측정되었다. 만일, 반자성체의 반자기적 작용이 그 물질 내부의 전기적 분자들의 분자적 극성(molecular polarity)의 역방향성(逆方向性)에 기인한 것이라면, 위의 실험에서 실험용 실린더가 철과 같은 자성체인가, 또는 구리와 같은 반자성체인가에 따라 정반대의 현상이 나타나야 했다. 즉 보통 자성체는 실린더 안으로 진입하는 과정에서 한 쪽 방향의 계속적인 전류를 유도시켰음으로, 반자성체는 이와 반대 방향의 전류를 유도시켜야 했던 것이다.⁷⁴⁾ 그러나, 실험 결과는 이와 달랐다. 구리 실린더가 진입할 때는 자성체와는 반대 방향의 전류가 유도되다 이것이 멈추는 순간 자성체와 동일한 방향의 전류가 순간적으로 유도되었던 것이다.⁷⁵⁾

패러데이는 이것이 반자성체의 역방향의 극성때문이 아니라, 유도전류에 의한 것임을 다음과 같이 설명했다. 철 실린더는 나선 안으로 진입하면서 그 자신의 주위에 자기력선을 집중시키고, 이에 따라 자기력선은 나선을 구성하는 도선을 교차하며, 이 작용에 의해 나선에 전류가 유도될 수 있었다.⁷⁶⁾ 구리 실린더의 경우도 유사한 방법으로 설명이 가능했다. 이것이 진입할 때는 자기력에 의해

69) 결정자기 작용에 대한 패러데이의 연구 논문인 "On the Crystalline Polarity of Bismuth and on its Relation to the Magnetic Form of Force" (1848. 10), *ERE*, Vol. 3, Series 22에서 패러데이는 반자성체의 운동과 자기력선을 연결시키려는 시도를 전혀 하지 않았다. (2464)(2497)을 참조할 것.

70) *ERE*, Vol. 3 (2497)을 볼 것. 윌리엄스와 구딩은 모두 이점을 지적하고 있다. L.P. Williams, *Michael Faraday*, pp. 420-430, passim, D. Gooding, "Final Steps to Field Theory," p. 263.

71) *ERE*, Vol. 3 (2612).

72) W. Weber, "On the Excitation of Diamagnetism According to the Laws of Induced Current" (1848. 1), "On the Measurement of Electrodynamical Force," in *Scientific Memoirs* (註 60 참조), pp. 477-488, 489-529. 베버의 논문에 대해서는 A.E. Woodruff, "Action at a Distance in the 19th-Century Electromagnetism" (註 5 참조)에 소개되어 있다. 패러데이가 베버의 논문에 대해 한 언급으로는 *ERE*, Vol. 3 (2640) 또는 *Faraday's Diary* (10050)를 볼 것.

73) 이 실험의 상세한 내용에 대해서는 *ERE*, Vol. 3 (2643-2652); *Faraday's Diary*, (10219)ff. (10553) ff.를 볼 것.

74) *ERE*, Vol. 3 (2666).

75) *ERE*, Vol. 3 (2671).

76) *ERE*, Vol. 3 (2664)(2696).

유도된 전류가 자기력선을 발산시키며, 이 자기력선의 발산이 다시 반대 방향의 전류를 유도했다. 그리고, 이것이 정지하면 유도 전류 역시 사라지고, 따라서 자기력선을 원 위치로 되돌리며 이 과정——발산된 자기력선이 다시 수렴되는 과정——중 다시 반대 방향의 전류가 유도되었던 것이다.⁷⁷⁾ 비록, 이 실험이 그 조작에 있어서 여러 난점을 지니고 있었을지라도,⁷⁸⁾ 반자기적 작용이 역방향의 극성의 의한 것이 아니라 유도전류에 의한 것임을 설명하는 데에는 만족스러운 것이었다. 윌리엄스의 지적대로, 패러테이가 반자기적 극성(diamagnetic polarity)이 존재하지 않는다고 확신한 것은 이 실험을 통해서였던 것이다.⁷⁹⁾

그러나, 구덩은 이 실험의 중요성이 반자기적 구성의 문제에 있는 것이 아니라, 패러테이가 이 실험을 통해 자기현상의 전도(conduction)에의 유비를 처음으로 성립한 데 있다고 주장했다.⁸⁰⁾ 자기현상을 전도 개념을 사용해서 설명하는 것은 톰슨(W. Thomson 1824—1907)에 의해 처음 제기되었던 것으로, 균일한 자기장 속에서 자성체는 자기력선을 그것에 집중시키지만 반자성체는 이것을 발산시킨다는 것을 내용의 골자로 하는 이론이었다.⁸¹⁾ 다시 말하자면, 이것은 자성체와 반자성체의 차이——즉 반자기적 극성——를 자기력선 개념을 사용해서 설명하는 이론이었으며,⁸²⁾ 따라서 이 자기적 전도이론 속에서 자기력선은 자기현상을 설명하는 가장 중심적인 개념으로 부상하는 것이었다. 패러테이도 1850년 10월에는 이 자기적 전도이론을 발표하며, 반자성체의 극성의 문제를 자기력선을 사용해서 설명하게 된다.⁸³⁾ 그러나, 구덩의 주장대로 패러테이가 이 이론을 위에서 언급한 실험을 통해 얻었다면 새로운 문제가 생기는데, 이것은 왜 패러테이가 1850년 8월에 발표한 논문에서도 반자성체의 특성을 자기력선이 아닌 이전까지의 일반법칙——반자성체의 운동이 자기적 작용이 강한 곳에서 약한 곳으로 일어난다는 것——만을 통해서 설명했는가 하는 것이다.⁸⁴⁾

패러테이는 위의 실험의 해석에서 반자성체의 진입이 자기력선을 발산시킨다고 언급했지만, 이것

77) *ERE*, Vol. 3 (2696), (2697).

78) 이 실험이 지닌 기술상의 난점에 대해서는 L.P. Williams, *Michael Faraday*, p. 433 또는 D. Gooding, "Final Steps to Field Theory," p. 265를 참조할 것.

베버는 이후에도 계속 자신의 이론을 발전시켰다. W. Weber, "On the Connexion of Diamagnetism with Magnetism and Electricity" (1852), in *Scientific Memoris*, pp. 163—199; "On the Theory of Diamagnetism," *Philosophical Magazine* (1855).

79) L.P. Williams, *Michael Faraday*, p. 425.

80) D. Gooding, "Final Steps to Field Theory," p. 265; 윌리엄스는 구덩처럼 이 점을 강조하지는 않지만 패러테이가 이 실험을 통해 반자성체가 자기력을 발산시킨다는 것을 처음 인식했다고 언급하고 있다. L.P. Williams, *Michael Faraday*, p. 438을 참조할 것.

81) 톰슨은 이와 같은 자신의 이론을 패러테이에게 편지로 처음 공개했다. "Thomson to Faraday" (1848. 6. 27), "Thomson to Faraday" (1849. 6. 19), *Selected Correspondence*, Vol. 1, pp. 523—524, Vol. 2, 555—557.; 두번째 편지의 날짜에 대해서는 학자들 간에 이견이 있다. 윌리엄스는 톰슨의 편지를 편집했던 쇼프슨의 견해를 그대로 받아들여 이것을 1849년 6월 19일로 편집했다. 그러나, 와이즈(N.M. Wise)는 톰슨이 이 편지의 요일을 토요일로 적었고 토요일이 6월 19일인 해는 1849년이 아닌 1847년이었다는 점에 착안해서 이 편지를 1847년에 쓴 것으로 보고 있다. 그러나, 구덩은 패러테이와 톰슨의 1847, 1849년 6월 19일을 전후한 상황과, 편지의 내용, 그 당시들의 관심을 다 고려한 후 이 편지가 1848년 6월 27일 직전경(1848년 6월 17일 경)에 씌어진 것이라고 주장하고 있다. D. Gooding, "A Convergence of Opinion on the Divergence of Lines," *Notes and Records of the Royal Society in London*, 36(1982), 243—259, esp. pp. 244—246을 참조할 것.

82) 톰슨의 전기 현상에 대해서도 패러테이의 개념을 푸리에의 전도 이론을 사용해서 설명했다. W. Thomson, "On the Uniform Motion of Heat in Homogeneous Solid Bodies and Its Connexion with the Mathematical Theory of Electricity," *Cambridge Mathematical Journal* (1842): 이 논문에 대한 논의로는 J.E. Buchwald, "William Thomson and the Mathematization of Faraday's Electrostatics," *Historical Studies in the Physical Sciences*, 8 (1978), 101—136을 볼 것.

83) "Magnetic Conduction Theory," *ERE* Vol. 3, Series 26 (1850. 10).

84) 예를 들어 *ERE*, Vol. 3. (2789)를 볼 것.

이 균일한 자기장 속에서 반자성체에 의한 자기력선의 발산을 의미하는 것은 아니었다.⁸⁵⁾ 구리와 같은 반자성체 실린더의 경우에 자기력선을 발산시키는 원인은 실린더에 유도된 유도전류 때문이었다. 그러나, 유도전류의 방향은 자성체와 반자성체에 있어서 항상 같음에도 불구하고, 철 실린더의 작용을 설명할 때는 이 점이 고려되지 않았다. 철 실린더의 경우에 자기력선의 집중이 일어나는 이유는 보통 자성체가 그 주위에 자기력선을 집중시키기 때문이었다. 즉, 패러데이는 자성체 실린더와 반자성체 실린더 각각의 경우의 설명에서, 서로 다른 요인으로 현상을 설명했던 것이다.⁸⁶⁾ 이 당시 패러데이가 반자성체의 진입이 자기력선을 발산시키는 이유에 대해 혼동된 생각을 지니고 있었다는 것은 그의 다음 구절에서 잘 나타난다.

구리의 진입이 자기력선을 발산시킨다. 진입하는 구리에 반작용이 작용한다는 것과 이것이 자기력선을 계속 발산시키는 방향으로 전류를 형성한다는 것은 의심의 여지가 없다. 그러나, 자기력선이 구리 내부에 야기시키는 전류가 자기력선의 발산을 야기시킨다고 말하는 것은 비논리적인 것으로 보인다. 오히려 나에게는 진입하는 구리에 의해 자기력선이 발산되고 이 자기력선이 구리 입자들에 존재하는 힘에 반작용을 일으켜 전류를 형성한다고 하는 것이 더 있음직하게 여겨진다.⁸⁷⁾

패러데이는 이제 반자기적 작용이 반자기적 극성에 기인한 것이 아님을 분명히 인식하게 되었다. 비록, 패러데이의 실험 결과가 짝이 맞지 않는 추론에 의해 해석되었지만, 반자기적 작용은 유도전류에 의한 것이었다. 그렇지만, 이같은 설명도 충분히 만족스러운 것은 못되었다. 왜냐하면, 유도전류의 방향은 자성체나 반자성체나 같은 방향이었으며, 이것의 세기는 물질의 자기적 특성이 아닌 전기적 전도성에 비례하는 것이었기 때문이다. 패러데이 자신도 인정했듯이, 반자성체에 유도된 전류가 자기력선을 발산시킨다는 것은 비논리적이었다. 따라서, 패러데이는 자기적 작용과 반자기적 작용이 물질을 구성하는 입자들의 어떤 ‘질’(quality)의 차이에 기인한 것⁸⁸⁾이라는 생각을 완전히 떨쳐버릴 수 없었던 것이다. 만일, 이 작용의 차이가 물질 입자들의 질적 차이에 의한 것이라면, 자성체 입자 하나하나도 자기력에 의해 인력을 받고, 반자성체 입자는 척력을 받아야 했다.⁸⁹⁾ 패러데이는 이 점을 검증하는 실험을 고안했다. 만일, 반자성체 입자들 각각이 자기력에 의해 척력을

85) 이 실험결과를 재해석해 보면 다음과 같다. 철 실린더가 진입할 때 생기는 전류의 방향을 +라고 정의하면, 철이 진입할 때는 두 가지 전류가 나선에 유도된다. 먼저, 철의 자성체적 성질에 의해 자기력선이 집중되면서 +방향의 전류가 흐르고 철에 유도된 유도전류에 의해 생성된 자기력선이 나선을 교차하면서 -전류가 흐른다. 전자는 구리의 경우와 항상 반대 방향이고 후자는 항상 동일한 방향인 것이다. 이것을 표로 만들면 다음과 같다.

		진 입	정 지
철	자성체의 성질에 의한 것	+	+(○)
	유도 전류에 의한 것	-	+
구 리	반자성체의 성질에 의한 것	-	-(○)
	유도 전류에 의한 것	-	+

따라서, 철은 항상 +가 나오고, 구리는 정지할 때 -에서 +로 전류의 방향이 바뀌는 것이다.

86) 패러데이의 실험에 대해서 이 점은 지금까지 지적되지는 않았다. 이 실험에 대한 해석으로는 L.P. Williams, *Michael Faraday*, pp. 430-433, p. 438 ; D. Gooding, "Final Steps to Field Theory," p. 265를 볼 것.

87) *ERE*, Vol. 3 (2701).

88) *ERE*, Vol. 3 (2757) : 구덩은 이 ‘질’(quality)이 전기의 전도율과 유사한 개념이었다고 지적하지만, 이 주장을 지지하는 증거를 구체적으로 제시하지 않고 있다. D. Gooding, "Final Steps to Field Theory," p. 239를 볼 것.

89) *ERE*, Vol. 3 (2721).

받는다면, 자기력의 영향을 받는 반자성체 기체는 그 부피가 팽창해야 했으며, 또 이 부피의 팽창을 실험적으로 검증할 수 있어야 했다.⁹⁰⁾ 또, 유체를 분리할 수 있는 튜브에 반자성체 유체와 자성체 유체를 동시에 넣고 자기력의 영향을 가하면, 하나는 인력을 받고 다른 하나는 척력을 받기 때문에 두 유체의 분리 현상이 관측되어야 했다.⁹¹⁾ 그러나, 많은 실험을 했음에도 불구하고, 패러데이의 이런 성향을 발견할 수 있는 미세한 증거도 발견하지 못했다. 패러데이는 물질 입자의 ‘질’의 차이를 전혀 관측할 수 없었던 것이다.⁹²⁾

자성체, 반자성체의 입자들은, 우리에게 알려져 있듯이, 자기장 속에서 직접적인 인력이나 척력의 작용에 의해 움직이지 않는다.…… 그리고, 자성체 기체와 반자성체 기체가 나타내는 현상은(물질 입자의 질의 차이가 아니라) 물질 자체(masses of matter)의 상이한 결과에 기인한 것이다.⁹³⁾

이제 당시의 복잡한 상황을 정리해 보자. 패러데이는 반자기적 극성의 존재에 대해서는 매우 회의적이었으며, 물질 입자의 어떤 질의 차이도 실험적으로 검증하지 못했다. 그리고 유도전류에 의한 설명도 비논리적인 점을 포함하고 있었다. 문제는 물질의 미시적, 분자적 상태에 대한 가설에 의존함이 없이 어떻게 자성체와 반자성체의 극성을 설명할 수 있는가 하는 점이었다.

이 어려운 문제를 해결할 수 있었던 것은 패러데이가 공간의 자기적 특성을 연구하는 도중 진공과 자기력선과의 관계를 다시 생각하면서 가능했다.⁹⁴⁾ 앙페르의 이론에 의하면 자기력의 영향을 받는 물질의 전기적 분자 주위에는 전류가 형성되었다. 따라서, 진공은 그 속에 어떤 물질입자도 내포하지 않기 때문에, 자기력의 작용과 무관했다. 패러데이도 1845년 이후 원점을 자기적 작용, 반자기적 작용과 무관한 물질로 정의했으며, 이것은 진공이 원점이라는 신념이 강해지면서 계속되었다. 즉, 패러데이는 앙페르의 이론 중에서 자기력이 자성체와 반자성체 입자의 주위에 서로 반대방향의 전류를 유도한다는 사실——자기력과 물질 간의 상호작용——은 부정했지만, 자기력이 진공에 어떤 영향도 끼칠 수 없다는 사실——자기력과 진공과의 관계——은 인정했던 것이다.

그러나, 1850년 패러데이는 기체와 진공에 관한 실험을 하던 중, 진공이 원점이라는 사실의 의미를 다시 생각하게 되었다. 이것은 다음에서 잘 볼 수 있다.

자기력선은 진공을 가로 지른다. 따라서, 공간 역시 그 자체의 자기적 성질을 가지고 있는 것이다.…… 그러나, 공간이 가진 자기적 성질은 우리가 물질의 자기적 성질, 반자기적 성질이라고 부르는 것과는 매우 다르다.……단순한 공간은 물질이 작용하듯이 작용하지는 않는다.…… 이렇게 해서 참된 원점이 얻어졌고 많은 물질이 두 가지 보편적인 부분——자성체(paramagnetics)와 반자성체(diamagnetics)——으로 나누어지게 되었다.⁹⁵⁾

분명히 자기력은 진공에 대해 무관했다. 그러나, 자기력선은 중력선, 정전기력선과 같이 진공을 가르치르는 것이었다. 이제, 진공이 자기력에 대해 무관하다는 것의 의미는 이것이 자기력선의 존재를 전혀 교란시키지 않는다는 것이 되었다. 이런 의미에서 공간은 그 자체의 자기적 관계를 가지고 있는 것이었다.⁹⁶⁾

그렇다면, 물질은 자기력선에 대해 어떤 관계를 가지는가. 이제, 분명한 점은 물질이 진공과는

90) *Ibid.*

91) *ERE*, Vol. 3 (1757).

92) *ERE*, Vol. 3 (2723—2747), (2749)(2757).

93) *ERE*, Vol. 3 (2756)(2769).

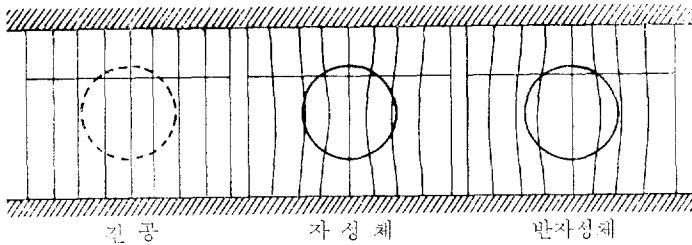
94) L.P. Williams 도 이 점의 중요성을 지적했다. L.P. Williams, *Michael Faraday*, pp. 434—435를 볼 것.

95) *ERE*, Vol. 3 (2787—2790), *passim*.

96) *ERE*, Vol. 3 (2787).

달리 자기력선을 교란시킨다는 것이었다. 자성체가 그 주위에 자기력선을 집중시킨다는 것은 실험적으로 명백한 사실이었다. 그리고, 이것은(전도 개념을 사용하면) 자성체가 진공에 비해 더 많은 자기력선을 통과시킨다는 것을 의미했다.⁹⁷⁾ 이제 반자성체가 자기력선을 발산시킨다는 것을 인정하는 것은 어려운 일이 아니었다. “반자성체는 자기력의 전파를 방해하며” 이것은 반자성체가 진공에 비해 적은 자기력선을 통과시킨다는 것, 즉 자기력선을 발산시키는 것을 의미했던 것이다.⁹⁸⁾ 패러데이는 톰슨이 주장한 자기적 전도이론(magnetic conduction theory)에, 톰슨과는 다른 과정을 통해서 도달했던 것이다.⁹⁹⁾

자기적 전도이론은 결정자기현상도 포함할 수 있었으며, 지금까지 발견되었던 자성체, 반자성체의 운동에 대한 일반 법칙과도 모순이 없었다.¹⁰⁰⁾ 그러나, 패러데이에게 이 이론의 가장 중요했던 점은, 이것을 통해 극성의 문제를 해결할 수 있었다는 것이다.¹⁰¹⁾ 이 이론에 의하면 자성체의 극성은 자기력선의 집중에 의해 나타나는 결과였으며, 반자성체의 극성은 자기력선의 발산에 의해 나타나는 것이었다. 패러데이는 이것을, 물질의 분자적 조건을 의미했던 일반적인 극성과 구별해서 ‘전도적 극성’(conduction polarity)이라 명명했는데,¹⁰²⁾ 그림에서 볼 수 있듯이 반자성체의 극성은 자성체의 극성과 결코 같은 것이 아니었다. 그렇다고 이것이, 베버의 주장처럼, 자성체의 극성과 반대 방향인 것도 아니었다.¹⁰³⁾ 자성체나 반자성체의 극성은 단지 자기력선의 작용에 의해 생성되는 것이었다.



이제 자기력선은 단순히 자기적 작용의 방향만을 나타내 주는 개념적 도구일 수 없었다. 그것은 어떤 물질이 자성체체인가, 반자성체인가를 결정하는 것이었으며, 또한 어떤 물질이 영구 자석인가 보통 물질인가도 결정하는 것이었다.¹⁰⁴⁾ 더욱, 자기적 전도이론을 통해 자기력선은 자기력의 세기도 나타낼 수 있게 되었다. 패러데이는 결정 자기 작용을 연구할 때, 보통 자석의 끝에 뾰족한 쇠를 접합시키면, 자기력의 세기가 더 강해진다는 것을 알고 있었고, 또 이것이 자기력선이 촘촘해지

97) *ERE*, Vol. 3 (2802).

98) 반자성체가 자기력선을 발산시키는 것은 실험적으로 관측하기 불가능할만큼 미미한 것이었다. *ERE*, Vol. 3 (2807)을 볼 것.

99) “Magnetic Conducting Power,” *Philosophical Magazine* (1851): 패러데이가 이 논문을 내기 이전에 톰슨의 주장을 얼마만큼 심각하게 고려했는가를 알 수 있는 직접적인 증거는 없으며, 이 점은 이미 언급한 톰슨의 편지의 날짜 문제와 관련되어 학자들 사이에 이견이 존재한다. 그러나, *ERE*, Vol. 3 (2626)에서 패러데이가 비스무스는 자기력선에 어떤 영향을 끼치지는 않는다고 주장한 점에서, 톰슨의 주장을 의식했음을 간접적으로 알 수 있다.

100) 여기서 패러데이가 보인 것은 이 일반법칙과 자기적 전도 이론이 모순이 없다는 것이었다. 이 점에 대해서는, L.P. Williams, *Michael Faraday*, pp. 439—443; D.Gooding, “Empiricism in Practice: Teleology, Economy, and Observation in Faraday’s Physics,” *Isis*, 73 (1982), 46—67을 볼 것.

101) *ERE*, Vol. 3(2818)ff.

102) *ERE*, Vol. 3(2818).

103) *ERE*, Vol. 3(2820).

104) 보통 자성체나 반자성체는 자기력선을 교란하기만 하는 물질이며, 영구 자석은 자기력선을 생성하는 물질이었다. *ERE*, Vol. 3(2832)을 볼 것.

는 것임을 인식하고 있었다.¹⁰⁵⁾ 그러나, 이 당시에는 자기력의 세기를 자기력선을 사용해서 설명하는데 필요한 이론적 근거가 전혀 없었지만 자기적 전도는 이것을 가능하게 했다. 즉, 자성체나 반자성체는 영구 자석과는 달리 자기력선을 생성하지 않기 때문에, 위의 그림에서 각각의 절단면이 가지고 있는 자기력의 양은 동일하며, 한정적(限定的)이다.¹⁰⁶⁾ 그런데, 자성체나 반자성체의 경우에 한 곳에서 자기력선의 수렴이 있다면 다른 곳에서는 발산이 있어야 하기 때문에, 한 곳이 더 많은 힘을 가지고 있다면 다른 곳은 더 적은 힘을 가지고 있어야 했던 것이다. 결국, 자기력의 세기——자기적 작용이 강하거나 약한 것——은 자기력선이 같은 공간 속에 얼마큼 촘촘한가에 의해 결정될 수 있었다.

IV

패러데이의 대기자기(大氣磁氣 : atmospheric magnetism)에 대한 연구는 그의 자기력선 개념의 완성과 밀접한 관계가 있다. 그는 1845년 이후 계속해서 대기자기와 지구자기에 깊은 관심을 나타냈다. 예를 들어, 반자성체를 발견한 후, 패러데이는 지구상에 존재하는 많은 물질이 지구자기에 어떤 영향을 미치는가에 관심을 가졌으며, 이후 공기를 구성하는 기체가 자성체나 반자성체임을 발견하고는 이것이 대기자기를 변화시키는 양상에 대해 연구를 계속했다.¹⁰⁷⁾ 그렇지만 지구자기의 연구에는 한 가지 이론적인 어려움이 내재하고 있었다. 그것은, 지구와 보통 자석이 그 내부적 구성물에 있어서 너무나 이질적인 것이었기에, 보통 자석에서 존재한다고 간주되던 분자적 전류나 분자적 극성과 같은 개념을 지구의 자기적 특성에는 적용할 수 없었다는 것이었다.

그럼에도 불구하고, 이 둘의 자기적 성질이 동일하다고 주장하는 것은 가능했다. 왜냐하면, 지구는 자석이 가진 가장 중요한 특성——자기력선의 생성 장소라는 것——을 공유하고 있었기 때문이다.¹⁰⁸⁾ 이렇게 대기자기라는 복잡한 현상의 여러 가지 특성들이, 대기중에 존재하는 자기력선과 지구를 구성하는 물질의 자기적 전도율에 의해 설명될 수 있다는 것은, 자기력선에 의한 설명의 우월성을 입증하는 하나의 예증이었을 뿐만 아니라, 자기력선의 물리적 실재성에 대해 확신을 주는 것이었다.

이것(자기력선)은 작은 자석이나 결정체를 통해 나타나는 자기력의 방향만을 의미하는 것이 아니다. 이것은 양 극을 서로 연결하고, 유지시켜 주는 역선(力線)이며, 자석 바늘이나 결정과는 무관하게 존재하는 것이다. 이것은 광선, 연결과 유사한, 독립된 존재(비록 그 본질에서는 매우 다르지만)를 가진다.…… 이러한 이유에 의해서 자기력선의 존재와 그 방향을 명확히 인식할 수 있다.¹⁰⁹⁾

패러데이는 1851년 7월 이후 자기력선 그 자체의 여러 특성에 대해 집중적인 연구를 시도했으며, 그 다음 해 이것을 정리된 형태로 발표했다.¹¹⁰⁾ 그는 이것을 자기력선의 정의로부터 출발했다. 패

105) 1845년 패러데이는 이것을 자기력선의 촘촘해짐과 연결시키지 못했다. *ERE*, Vol. 3(2246)(2305)을 참조. 그러나, 패러데이는 1848년에 와서 자기력이 강해진다는 것이 자기력선이 촘촘해지는 것이라고 인식하게 되었다. *ERE*, Vol. 3(2485)을 볼 것.

106) *URE*, Vol. 3 (2809)(2866).

107) *ERE*, Vol. 3 (2447—2453)(2796); 자기적 전도 이론을 발표한 후 패러데이의 지구 자기에 대한 본격적인 연구는 “Atmospheric Magnetism,” *Philosophical Transaction* (1851), *ERE*, Vol. 3, Series 26; “On atmospheric Magnetism,” *ERE*, Series 27에서 계속된다.

108) *ERE*, Vol. 3 (2848).

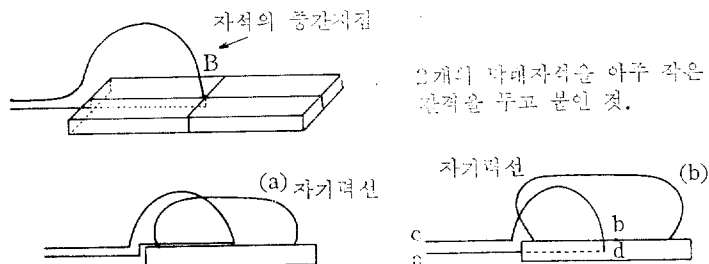
109) “On Atmospheric Magnetism,” *Royal Institution Proceedings* (1851. 4), *ERE*, Vol. 3, pp. 323—327, esp. p. 323을 볼 것.

110) “On Lines of Magnetic Force” (註 55 참조), *ERE*, Vol. 3, Series 28.

패러데이는 자기력선을 자석 바늘, 움직이는 도선, 비스무스 결정의 세 가지 방법을 통해 정의할 수 있다고 하며, 이 여러 방법이 결국은 모두 동일한 것이고 충실히 적용된다면 올바른 결과를 낼 것이라고 언급하나,¹¹¹⁾ 움직이는 도선을 통한 자기력선의 정의를 다른 방법에 의한 것보다 명백하게 선호하고 있다.¹¹²⁾ 그가 이것을 선호하는 이유는, 자석 바늘이나 철가루로 자기력선을 정의하는 것이 반론의 여지가 많았기 때문이었다. 즉, 자기력선은 실재하는 것이 아니라 자기력과 다른 물질의 작용에 의해서만 나타나는 가상의 것에 불과하다는 비판의 여지가 있었던 것이다.

그는 여기서 자기력의 방향, 세기, 조건을 나타내 주는 것으로 사용했지만, 자기력의 전파를 가능하게 해 주는 것으로는 사용하지 않았다.¹¹³⁾ 이것은 패러데이가 자기력선의 물리적 실재성을 의심하고 있었기 때문이었기보다는, 힘의 전파에 대해 확실한 해답을 발견하지 못했기 때문이었다. 그 이전까지 패러데이는 힘을 원거리 작용과 극성력으로 분류했었다. 원거리 작용은 매개입자와는 무관한 것이었고, 극성력은 매개입자에 의해 힘이 전달되는 것이었다. 그러나 자기력은 이 둘의 어느 경우와도 유사하지 않았다. 그것과 전기력과의 상호연관성을 고려할 때 자기력이 원거리 작용이 아님은 분명했지만, 그렇다고 매개입자에 의한 극성력도 아니었던 것이다.¹¹⁴⁾

패러데이는 자기력선에 의한 자기력의 전파를 무리하게 주장하는 길 대신에 자기력선의 물리적 실재성을 입증하는 실험적 증거를 축적하는 길을 사용했다. 패러데이는 자기적 전도 이론을 내놓으면서, 자기력선이 한정적이며, 변하지 않는 자기력의 양을 표현한다고 언급했지만, 이것을 실험적으로 입증하지는 못했었다. 패러데이가 가장 먼저 행한 실험은 이 점을 증명하는 것이었다.¹¹⁵⁾ 그는 이 점을 다음 실험을 통해 보일 수 있었다.



먼저 위의 그림에서와 같이 자석을 고정시킨 채 도선을 직접 180° 회전시키면 도선에는 한 쪽 방향의 전류가 유도되었으며, 이것은 도선이 회전하면서 반평면 위의 자기력선을 모두 한 번씩 교차하기 때문이었다.¹¹⁶⁾ 그렇지만, 그림 (a)처럼 도선을 자석 외부에 고정시켜 놓고 도선을 회전시킬 때는 어떤 전류도 유도되지 않았다.¹¹⁷⁾ 이것은 도선이 서로 반대 방향으로 자기력선을 두 번 교차했기 때문이었다. 즉, 자기력선이 도선 안으로 들어가는 방향에서 도선을 교차하면서 생성된 전류와 나오는 방향에서 다시 교차하면서 생성된 전류는 그 양은 같고 방향이 반대이기 때문에, 이 둘은 서로 상쇄되었다.¹¹⁸⁾ 이로부터, 같은 자기력선의 동일한 부분은 서로 같은 자기력의 양을 나타내며

111) *ERE*, Vol. 3 (3071).

112) *ERE*, Vol. 3 (3074)(3076)(3083)(3156)(3176)을 볼 것.

113) *ERE*, Vol. 3 (3074); 패러데이는 이것을 공식적으로는 "On the Physical Character of the Lines of Magnetic Force," *Philosophical Magazine* (1852), *ERE*, Vol. 3 (3243-3299)에서 주장한다.

114) *ERE*, Vol. 3 (3075).

115) *ERE*, Vol. 3 (3073)(3109).

116) *ERE*, Vol. 3(3091).

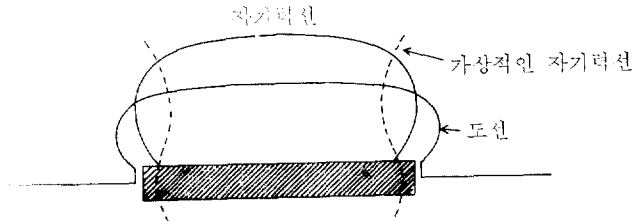
117) *ERE*, Vol. 3 (3092).

118) *ERE*, Vol. 3 (3106)(3109).

따라서 같은 수의 자기력선의 단면이 서로 같은 양의 자기력을 나타낸다는 것을 증명할 수 있었다.

패러데이가 밝히려고 했던 두 번째 사실은, 자기력선이 자석 외부의 공간에만 존재하는 것이 아니라 외부 공간에 존재하는 자기력선과 동일한 갯수의 자기력선이 자석 내부에도 존재하고 있다는 것이었다. 이것은 다음의 간단한 실험을 통해 가능했다. 위의 그림 (b)에서 자석을 고정시키고 도선을 180° 회전시키면 도선에는 유도전류가 형성되었지만, 도선과 자석이 동시에 회전할 때는 어떤 전류도 유도되지 않았다. 이때에도 도선 cb는 외부에 존재하는 자기력선을 한번 교차했기 때문에 전류가 유도될 수 있는 조건을 만족했다. 따라서, 전류가 유도되지 않은 이유는 자석 내부에서 찾아야 했다. 패러데이는 도선 ad가 전류의 형성과 무관함을 보일 수 있었으며,¹¹⁹⁾ 따라서, 도선 bd가 전류의 형성에 관련되었다는 것은 분명해졌던 것이다. 즉, 도선 cb에 의해 유도된 전류는 도선 bd에 의해 유도된 전류와 상쇄되었으며, 이것은 자석의 내부에도 외부 공간과 마찬가지로 자기력선이 존재함을 입증하는 것이었다.¹²⁰⁾

패러데이가 자기력선의 실재성을 밝히기 위해 실험한 세 번째 것은, 막대 자석의 양 극이 휘어진 자기력선에 의해 공간을 통해 작용한다는 것이었다. 이것을 증명하는 것은 자기력선의 실재성을 주장하기 위한 가장 효과적인 방법이었다. 왜냐하면, 자기력선의 실재성을 보이기 위해서는 자기력선이 자기력을 전파하는 매개 입자로 이루어져 있거나 또는 자기력선을 통한 힘의 전파에 시간이 요하는가를 보이면 되었는데, 그 당시 패러데이의 입장으로는 전자는 거의 잘못된 것이었으며,¹²¹⁾ 후자는 아직 실험적으로 입증된 것이 아니었다.¹²²⁾ 따라서, 차선의 해결책은 자석의 양 극이 자석 내부를 통해서만이 아니라, 주위 공간을 통해서 작용한다는 것을 보이는 것이었다. 이와 같은 상호작용은 중심력의 개념으로는 도저히 이해할 수 없으며, 오직 휘어진 자기력선의 존재를 인정해야만 가능한 것이었다.¹²³⁾



패러데이는 몇 가지 실험을 통해 이것을 보일 수 있었다. 만일 자기력선이 자석의 한 극에서 나와 다른 극으로 들어가는 것이라면 위의 그림과 같은 회로는 자기력선을 서로 반대 방향으로 두 번 교차하기 때문에 어떤 전류도 유도되지 않아야 했다. 그러나, 이것이 점선과 같이 발산하는 것이라면 도선의 회전은 전류를 유도해야 했다. 실험 결과는 도선만 회전시키는 경우나 도선과 자석을 함께 회전시키는 경우 모두, 어떤 전류도 유도되지 않았다.¹²⁴⁾ 도선 고리가 막대자석을 통과하는 경우도 마찬가지였다. 만일, 자기력선이 자석의 한 극에서 나와 다른 한 극으로 들어가는 것이라면 고리가 자석의 중앙에 이르렀을 때 가장 많은 자기력선을 교차했으며, 따라서 가장 많은 전류가 흘러야 했다. 실험 결과는 패러데이의 주장과 부합하는 것이었다.¹²⁵⁾

119) *ERE*, Vol. 3 (3095).

120) *ERE*, Vol. 3 (3117); 패러데이는 이후 이 사실을 사용해서 자기적 유체(magnetic fluid) 이론을 비판할 수 있었다. *ERE*, Vol. 3 (3261)을 참조.

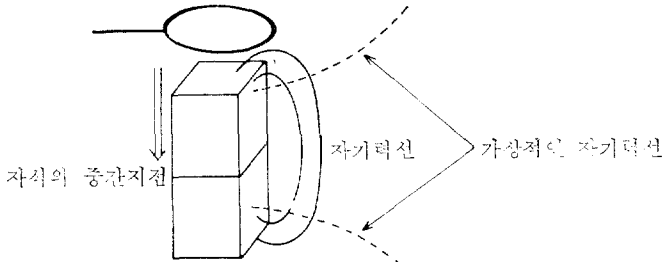
121) 이미 패러데이에게 있어서 자기력선 그 자체의 실재성을 인정하는 것은, 매개 입자에 의한 자기력의 전파와는 모순되는 것이었다. *ERE*, Vol. 3 (3258)을 볼 것.

122) *ERE*, Vol. 3 (3253).

123) *ERE*, Vol. 3 (3257—3263), *passim*.

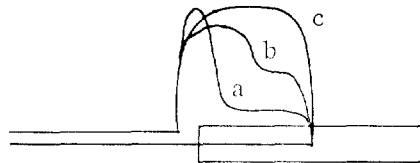
124) *ERE*, Vol. 3 (3102).

125) *ERE*, Vol. 3 (3191). 그러나, 실제로 이 실험들은 자기력선의 존재를 인정한 이후 그 모양을 규명하는 성질의 것이었으며, 자기력선 그 자체의 존재를 입증하거나 부정하는 것은 아니었다.



자기력선의 실재성을 주장하기 위해서는 위의 작업 이외에도 몇가지 작업이 더 필요했다. 먼저, 자기적 유체나 앙페르의 분자적 전류와 같이 자기력선에 매립되는 개념들이 잘못된 것임을 밝히는 일이며,¹²⁶⁾ 두 번째는 자기력선 개념을 사용해서 자기력을 정량화하고 이것의 단위를 만드는 것이었다.¹²⁷⁾

패러데이는 다른 이론들을 크게 두 가지 방법으로 비판했다. 하나는 어떤 다른 이론도 자기력선을 사용해서 반자성체의 극성을 설명한만큼 이것을 설명할 수 없음을 보이는 것이며,¹²⁸⁾ 다른 하나는 이런 이론들로 설명하기 힘든 실험사실을 자기력선을 통해서 쉽게 설명된다는 것을 보이는 것이었다.¹²⁹⁾ 예를 들어, 패러데이는 아래의 그림에서 각각의 도선에 유도되는 전류의 크기가 항상 일정하다는 것을 앙페르의 이론으로는 설명하기 힘들다고 주장했다.¹³⁰⁾ 왜냐하면, 앙페르의 이론은 노리의 역자승에 비례한 자기력의 감소를 가정하기 때문에 자석의 극과 도선 간의 거리에 관계없이 항상 일정한 전류가 흐른다는 것을 설명하기 어렵기 때문이었다. 그러나, 이 사실을 자기력선으로 설명하는 것은 간단했다. 즉, 도선의 모양과 관계없이 이 도선들은 모두 반평면 위의 자기력선을 한 번 교차하기 때문에 같은 양의 전류가 형성되는 것이었다.



패러데이는 자기력선과 움직이는 도선에 의해 유도되는 전류에 대한 실험을 계속하던 중, 도선에 유도되는 전류의 양을 나타내 주는 일반 법칙을 발견할 수 있었다. 이것은 도선에 유도되는 전류가 도선이 교차한 자기력선의 갯수에 비례한다는 것이었다.¹³¹⁾ 그는 자기력의 세기가 자기력선의 단면의 갯수로 나타내질 수 있다는 점과 이 일반 법칙을 사용해서 자기력의 정량화를 시도했다. 이것은 다름아닌 자기력선 개념을 사용한 자기력의 단위를 설정하려는 노력이었다. 그는 자신의 실험에서

126) *ERE*, Series 28, 29 "On the Physical Character of the Lines of Magnetic Force,"에서는 다른 이론에 대한 비판이 직접적이지는 않았다. 그러나, 라ιβ(De la Rive)가 '일반자성체', '반자성체', '전류의 유도', '빛의 회전'의 4가지 현상을 가장 잘 설명하는 이론이 앙페르, 베버의 것이라고 지적한 후, 패러데이는 이들 이론을 직접 비판했다.

127) 패러데이는 *ERE*, Series 28, 29에서 행한 수 많은 실험의 목적이 정량화를 위한 것이었다고 직접 언급하지는 않았다. 그러나, 이 실험들을 정량화의 추구라는 성격으로 이해하면 그 의미가 훨씬 분명해진다. *ERE*, Vol. 3 (3122)를 참조.

128) *ERE*, Vol. 3 (3307-3312).

129) De la Rive의 주장에서 볼 수 있듯이, 자기적 유체보다는 앙페르의 전기적 분자가 더 큰 문제였다.

그의 "On Some Points of Magnetic Philosophy," *Philosophical Magazine* (1855)는 대부분 앙페르의 이론을 비판하는 목적에서 씌어졌다.

130) *ERE*, Vol. 3 (3107).

131) *ERE*, Vol. 3 (3152)(3153).

고려할 수 있는 모든 변수——자석의 종류, 배열, 크기, 검류계의 종류, 주위의 매질, 도선의 굵기, 가닥 수, 재질, 모양, 그리고 도선이 움직이는 속도——를 변화시키면서 실험을 했고, 여기서 전류의 형성에 관계가 있는 것과 없는 것을 구분했다. 비록 패러데이가 이 실험을 통해 자기력선을 통한 자기력의 단위를 설정하지 못하고 이 작업이 앞으로의 더 많은 연구를 필요로 한다는 점을 인정했지만,¹³²⁾ 이 실험 과정에서 패러데이는 도선의 움직이는 속도가 전류와는 무관하다는 것을 밝혔다.¹³³⁾ 전류의 형성에 관계하는 요소는 교차된 자기력선의 갯수와 그 도선의 전기적 특성——즉, 전기적 전도율——에만 비례하는 것이었다.

패러데이가 도선의 움직이는 속도를 중요하지 않게 간주했던 것은 자기력선의 물리적 실재성에 대한 그의 믿음에서 기인한 것이었다. 같은 갯수의 자기력선을 교차한 도선에는 그 속도에 관계 없이 같은 양의 자기력이 작용했기 때문에 이것이 서로 다른 양의 전류——전기력의 동적 형태——를 유도한다는 것은 있을 수 없는 일이었다.¹³⁴⁾ 왜냐하면, 자기력선은 자기력의 방향만을 가시적으로 설명하기 위한 개념적 도구가 아니라, 자기력의 양 그 자체를 나타내는 것이었기 때문이다. 자연에 존재하는 여러 힘들이 상호 연관되어 있으며 변환되는 것이라는 생각은 패러데이의 오랜 믿음이었지만, 그렇다고 같은 양의 자기력——즉, 같은 수의 자기력선——이 다른 양의 전기력으로 변환되는 것까지 가능하지는 않았다.¹³⁵⁾ 중요한 것은 얼마나 많은 자기력선이 도선에 의해 교차되었나 하는 것이지, 도선의 속도가 아니었던 것이다.¹³⁷⁾

결 론

지금까지 우리는 1845년 이후의 패러데이의 자기현상에 대한 연구 속에서 자기력선이 자기의 본질을 나타내는 중심적인 개념으로 부상하는 과정과, 이것을 통해 패러데이가 자기현상을 어떻게 설명했는가에 대해 살펴보았다. 이 고찰을 통해 알 수 있었던 사실은, 자기력선 개념의 부상이 단지 실험적 자료가 축적되면서 반 자동적으로 이루어진 것이 아니었으며 역으로 순수한 사변적 가설을 통해 미리 설정된 것도 아니었다는 점이다. 이 과정은, 기존 이론으로 설명하기 어려운 새로운 실험적 사실의 발견과, 이 사실을 분자적 가설 없이 설명하려는 패러데이의 시도, 그리고 자연계의 힘의 본성에 대한 패러데이의 믿음이 복잡한 상호과정을 거치면서 나타난 것이었다.

자기력선은 물질의 극성이라는 어려운 문제를 해결할 수 있었으며, 물질과 공간을 포함한 단일한 자기적 조건을 형성할 수 있었다. 자기력선은 전기와 자기와의 유비를 완벽히 설정하는 것을 가능하게 했으며, 이 작업을 통해 그는 중력을 포함한 모든 힘이 역선을 통해 작용할 것이라는 믿음을 가질 수 있었다. 자기력의 전파에 시간이 필요하다는 것이 단지 아직 발견이 안된 사실에 불과하듯

132) *ERE*, Vol. 3 (3122).

133) *ERE*, Vol. 3 (3104)(3108)(3185)(3196)(3200)

134) 이 당시 그는 전류와 전하(charge)를 분명히 구별짓지는 않았다. 예를 들어 (3115)에서는 “...the quantity of electricity thrown into a current is directly as proportional as the amount of the curves intersected”라는 표현을 쓰지만 (3177)에서는 “...the amount of curves intersected is precisely proportionate to the amount of lines of magnetic force intersected by the moving wire”라는 표현을 쓰고 있다. 분명한 것은, 그 당시에는 현대적 의미의 전하와 전류의 개념, 즉 $i = dq/dt$ 은 없었으며, 전류는 검류계에 나타나는 순간적인 눈금 각도의 변화로 밖에는 측정할 수 없다는 것이었다.

135) 패러데이는 도선의 속도에 따라 검류계 바늘의 각도가 변하는 이유를 도선의 속도가 검류계 바늘이 움직이는 속도보다 훨씬 빠르다는 점에서 찾고 있다. *ERE*, Vol. 3 (3104)를 볼 것.

136) “On the Employment of the Induced Magneto-Electric Current as a Test and Measure of Magnetic Force, *Philosophical Transactions* (1852), *ERE*, Series 29. 이것은 이점을 실험적으로 확증하기 위해 씌어졌다. 그러나, 도선의 속도가 전류와 유관하다는 것은 여기서도 발견되었으나, 패러데이는 이 점에 대한 더 이상의 언급을 회피하고 있다. *ERE*, Vol. 3 (3208)을 볼 것.

이 비슷한 논리가 중력의 경우에도 적용될 수 있었던 것이다.¹³⁷⁾

패러데이의 이론의 가장 중심적인 개념이었던 역선을 통한 힘의 전파는 톰슨, 맥스웰에 의해 수용되고 발전되었으며, 이것은 1870년대 이후의 영국전자기학의 가장 큰 특징으로 나타났다.¹³⁸⁾ 더우기, 역선의 개념은 수학의 전문교육을 받았던 이들에 의해 수학적으로 표현되었다. 패러데이가 자신과 수학자들의 차이라고 간주했던 점은 더 이상 중요하지 않게 되었다.

패러데이 자신이 실험적으로 증명하지 못했던 또 다른 가정인 자기력의 전파가 시간을 필요로 한다는 것은 맥스웰에 의해서 수학적으로 예측되었고,¹³⁹⁾ 이후 독일의 젊은 물리학자인 헤르츠(H.R. Hertz, 1857—1894)에 의해 실험적으로 증명되었다.¹⁴⁰⁾ 그러나 패러데이 이후의 전자기학의 발전은 그의 의도대로 이루어지지 않았다. 기본적으로 전자기파의 전파에 시간이 필요함은 사실이었지만 이것이 패러데이의 생각처럼 휘어진 역선을 통해 작용하는 것은 아니었기 때문이었다. 그가 입증하려고 노력한 역선의 물리적 실재성은 이것이 더 넓은 의미의 장(場: field)에 포함되면서 장을 표현하는 수학적 도구로 되어버렸던 것이다.

다시 우리의 쫓점을 19세기 중반기의 물리학으로 맞추어 보자. 19세기 초엽부터 물리학자들은 물질의 미시적인 내부조건을 설정하고, 이것으로부터 거시적인 현상을 수학적으로 설명하려 했다. 이것은 이 당시 물리학자들이 관심을 가지던 현상들의 특수성에 기인한 것이었다. 전기, 자기, 열, 빛과 같은 현상은 그것이 거시적 현상으로 나타나는 것이었음에도 불구하고, 이 거시적 현상을 서술하는 것으로 만든 거의 의미가 없었던 그러한 것이었다. 그렇다고 방정식의 수학적 형태(mathematical formalism)로부터 그 해(solution)를 구하는 해석 역학(analytical mechanics)의 방법이 그대로 적용될 수도 없었다. 결국, 물리학자들은 이 거시적 현상의 미시적 메카니즘으로 눈을 돌릴 수밖에 없었던 것이다.

그러나, 이와 같은 미시적 메카니즘의 모델을 통한 설명은 한 가지 위험을 안고 있었다. 즉, 이 모델은 현상의 설명을 용이하게 하고, 경우에 따라서는 수학적 설명을 가능하게도 해주었지만, 일단 이것을 통해 만족한 설명이 얻어진 후 다른 현상을 설명할 때는, 이 가설적 모델이 더 이상 모델이 아니라 물리적 실재로 간주된다는 점이 바로 그것이었다. 이 과정은 한 과학자의 과학연구를 통해서도 나타냈지만, 한 과학자의 이론이 다른 과학자들에 의해 수용될 때 더 현저히 나타났음을 볼 수 있다. 전기적 유체, 자기적 유체, 전류, 분자적 전류, 반자기적 극성 등 19세기 전자기학의 많은 개념이 바로 이 범주에 속했다.

패러데이가 미시적 메카니즘을 통한 수학적 설명을 하지 않았던 것은 수학의 대한 그의 무지때문이었을지도 모르며, 더 큰 맥락에서는 그 당시 영국 과학의 아마추어적 성격에 기인한 것이었을지도 모른다.¹⁴¹⁾ 그러나, 패러데이가 단지 현상을 서술해 주는 일반 법칙에만 의존한 것은 아니었다.

137) 중력에 대한 패러데이의 생각에 대해서는 "Observations on the Magnetic Force" (1853), *ERE*, Vol. 3, pp. 447—507, esp. pp. 506—507.; "On Magnetic Hypothesis" (1854), *ERE*, Vol. 3, pp. 524—427, esp. p. 527.; "On Some Points of Magnetic Philosophy," *Philosophical Magazine* (1855), *ERE*, Vol. 3, pp. 528—565 passim.을 볼 것.

모든 힘을 역선 개념을 사용해서 결합시키려는 패러데이의 시도 중 가장 대표적인 것으로는 "On the Conservation of Force," in L. Bragg and G. Porter eds., *The Royal Institution Library of Science* Vol. 1 (1857), pp. 227—240이 있다.

138) P.M. Harman, *Energy, Force and Matter* (註 5 참조), p. 98.

139) J.C. Maxell, *A Treatise on Electricity and Magnetism* esp. ch. 20. (註 4 참조), "Electromagnetic Theory of Light." 여기서 맥스웰은 전자기파가 빛의 속도를 가지고 전파되는 것이라고 예측했다.

140) R. McCommach, "Heinrich Rudolf Hertz," in *Dictionary of Scientific Biography*, Vol. 6, pp. 340—350.

141) 19세기 초반 영국 과학의 아마추어적 성격에 대해서는 D.S.L. Cardwell, *The Organisation of Science in England* (London, 1972), ch. 2.3을 참조할 것. 윌리엄스도 패러데이를 중심으로 한 이 당시 영국 과학의 분위기를 잘 보여 주고 있다. L.P. Williams, *Michael Faraday*, ch. 8을 볼 것.

자기력선 개념의 형성 과정에서 볼 수 있듯이, 그는 거시적이고 현상적인 일반 법칙과 미시적 메카니즘의 어느 한 쪽에만 집착하지 않았던 것이다. 궁극적인 메카니즘이나 극단적인 수학화를 추구하지 않았던 것이 패러데이로 하여금 자신의 분야에서 성공하도록 유도한 가장 결정적인 이유라고 말하기는 어렵다. 그러나, 과학의 역사에서 자신의 분야에서 성공할 수 있었던 많은 과학자들——예를 들어 뉴턴, 라보와제, 돌턴 등——이 이와 유사한 범주에 속했다는 사실은 매우 흥미있는 것이다.