스칼라 웨이브 전도사 **콘스탄틴 메일** 교수,

무선 전력의 시대를 앞당기다

| **콘스탄틴 메일** | **박은식** 옮김 |

지난 10월 7일 독일의 콘스탄틴 메일 교수가 국내 강연차 들렀다가 미내사를 방문하였습니다. 메일 교수는 소규모 무선 전력시스템을 구축하여 선이 없이도 전력을 송수신하는 것을 시연해 보였습니다(편집자 주).

번역 원문

1부 『Scalar waves, Advanced Concepts for Wireless Energy Transfer』, Prof. Konstantin Meyl
2부 『Faraday or Maxwell? Do scalar waves exist or not?』, Prof. Konstantin Meyl

번역자 주

1. 독자의 편의를 위하여 원문에 포함된 복잡한 수식, 불 요하다고 생각되는 일부 비유적 내용 그리고 앞뒤 겹치는 내용은 편집하였습니다. 또한 직역하기 곤란한 부분은 의역을 하기도 하였습니다. 즉 번역문은 원문과 완전히 동일하지는 않습니다. 하지만 전체적 주제는 동일하며 개인적 견해는 내용에 영향을 주지 않았습니다. 번역의 목적은 최근 미내사를 방문한 메일 교수의 연구를 있는 그대로 독자에게 소개하는 데에 맞추어져 있습니다.
2. 원문의 수식 중 일부를 불가피하게 옮겨놓았으나 이는 일부 독자들을 위해 최소한의 것만 옮겨 놓은 것이며 굳이 수식을 읽지 않아도 글을 이해하는 데 문제가 없도록 최대한 노력하였습니다.
3. 맥스웰의 개념보다 패러데이의 개념을 더 포괄적인 것으로 보는 관점은 지난 수십 년간 빈번하게 시도된 것이며 그것은 몇몇 연구자들이 '기존 전자기학이 설명하지 못하는 영역'이 존재한다고 생각했기 때문입니다. 이러한 관점은 상대성 이론을 비판하는 논리에도 종종 인용되었는데 상대성 이론이 만들어진 과정에 맥스웰 방정식이 크게 연관되어있기 때문입니다. 비교적 최근에 비슷한 관점에서 연구를 진행했던 사람으로는 예를 들어 스테판 마리노브(1931~1997)가 있습니다.
4. 콘스탄틴 메일 교수 홈페이지(http://www.meyl.eu)에서 관련 실험 키트를 구입할 수 있습니다.
5. 본문의 이원성과 관련한 연구는 Oleg D. Jefimenko를 참고할 수 있을 것입니다. 패러데이의 관점에서 본 지연 퍼텐셜과 전자기 유도에 대한 독특한 해석을 찾아볼 수 있습니다.

1부 : 스칼라 웨이브, 무선 전력 전송을 위한 새로운 개념

테슬라가 남긴 기록

스칼라 웨이브는 정보와 에너지를 전송하는 데 있어서 매우 흥미로운 도구가 될 수 있다. 우리는 스칼라 웨이브를 이용해 빛보다 빠른 속도로 전력을 증폭하여 전송할 수 있으며 이는 패러데이 상자(도체로 만들어진 속이 텅 빈 상자)에 의해 차단되지 않을 수 있다. 이와 같은 실험 결과들은 교과서의 내용들과 충돌하지만 이는 이미 100년 전 저명한 실험물리학자인 테슬라(1856~1943)에 의해 실험되어 주장되었던 것들이다. 테슬라는 1900년 실험을 통해 수신기가 전송한 것에 비해 더 많은 에너지를 얻는 것을 발견하고 확대송신기(Magnifying transmitter)라고 명명한 바 있다. 테슬라는 주파수 분석을 통해 그의 송신기가 사용하는 전파가 빛보다 1.5배 빠르게 움직인다고 생각하였다. 또한 테슬라는 전기투열요법의 창시자로 스칼라 웨이브가 의료의 목적으로 사용될 수 있을 것이라 생각하였다. 오늘날의 전기투열요법은 스칼라웨이브와는 전혀 상관없는 것이 되는데 때문에 오늘날 전기투열요법은 의학계에서 중요한 위치를 차지하지 못하고 있다. 테슬라의 발견이 교과서에서 언급되지 않는 이유는 두 가지가 있다. 첫 번째 이유는 확대송신기를 만드는 것이 매우 비싸 다시 실험이 재현되지 못했기 때문이다. 하지만 오늘날의 전자부품들을 사용하고 고전압 대신 저전압에서 작동하게 함으로써 소규모로 쉽게 실험을 할 수 있다. 이미 실험 키트가 제작되었고 200여개 이상

그림 1. 메일 교수가 제작한 무선 전력 전송 실험 키트

이 판매되었다. 몇몇 대학에서도 이 실험 키트로 실험을 하여 결과를 확인해주었다. 이를 통해 우리는 1.4배에서 10배의 효율을 확인할 수 있었다. 두 번째 이유는 맥스웰 방정식이 오로지 횡파만을 서술하였기 때문이다. 횡파만을 이용해서는 에너지 전송을 올바르게 설명할 수 없었다.

실험 결과에 부합하는 소용돌이 모델

테슬라의 실험은 맥스웰 방정식에 반–소용돌이 부분을 포함시켜야만 설명할 수 있으며 이러한 모델은 헬름홀츠(1821~1894)와 윌리엄 톰슨(켈빈 경, 1824~1907)의 고리 소용돌이 모델에서 기인된 것이다. 반–소용돌이에 대한 구체적인 설명은 2부에서 서술될 것이다. 오늘날 물리학자들은 위의 실험 결과를 두고 공진회로 해석 또는 근역장 해석을 이용해 설명하려 한다. 하지만 효율이 1배수를 넘는다는 사실과 실험 키트에서 송신기와 수신기 사이의 거리가 근역장 해석이 사용될 수 있는 거리의 10배 이상이 된다는 사실을 볼 때 옳지 않은 시도라고 볼 수 있다. 이러한 사실은 베를린 공과대학에서 확인해주었으며 기록에 의하면 테슬라 역시 50km 거리를 두고 전력을 전송하였다 하는데 이는 관대하게 보아도 1km 이내인 근역장 해석 범위를 크게 능가하는 것이다.

한편 소용돌이의 감쇠(decay)는 전파 속도에 의존하는데 전파속도가 빛의 속도의 1.6배 이상이 되면 소용돌이가 안정화된다. 이렇게 매우 빠른 소용돌이들은 수축하게 되어 터널 효과를 경험할 수 있게 된다. 때문에 터널 효과가 일어나면 빛의 속도보다 빠른 속도가 나타나고 패러데이 상자로 이를 차폐할 수 없게 되는 것이다. 또한 입자의 성격을 띠는 소용돌이들은 고주파로 진동하여 영구적으로 극성을 양에

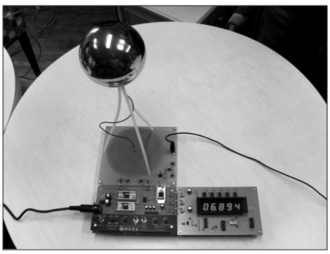
서 음으로 그리고 음에서 양으로 계속해서 바꾸기 때문에 평균적으로 전하를 갖지 않게 되어 거의 방해받지 않고 다른 물질을 통과할 수 있게 된다. 이런 성질을 갖는 입자들은 물리학에서는 뉴트리노라고 부른다. 뉴트리노 방사는 우리 주변을 둘러싸고 있으며 그 근원은 수신기로부터 멀리 떨어져있기 때문에 근역장 해석 따위는 실패하는 것이다.

무선 전력 실험이 말해주는 것

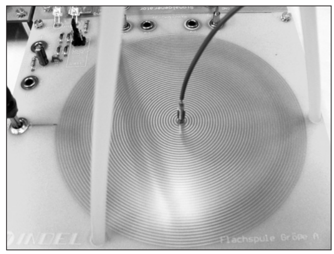
실험을 통해 무선 전력 전송이 가능함을 분명히 확인할 수 있었다. 에너지 손실이 크지 않을 때에는 결과적으로 증폭된 에너지를 얻을 수도 있음 역시 확인할 수 있었다. 또한 수신기의 접지선을 떼자 송신기가 수신기의 역할을 하는 것을 볼 수 있었다. 한편 테슬라 코일의 공진주파수는 7MHz이었는데 실험을 통해 주파수를 4.7MHz로 낮추자 수신기의 LED 밝기는 줄어들었고 쉽게 차단되었으며 송신기는 수신기 역할을 해내지 못했다. 4.7MHz 조건에서 실험 장치는 빛의 속도로 전송되는 헤르츠파 송수신기가 된 것이다. 파장이 변하지 않았기 때문에 주파수에 의해 전파 속도가 결정되는데 이를 통해 스칼라 웨이브가 빛의 속도에 비해 1.5배(7Mhz/4.7Mhz) 빠르다는 것을 다시 한 번 확인할 수 있었다. 또한 무선 전력 실험에서 패러데이 상자의 차폐기능이 작동하지 않았는데 이는 수신기가 에너지를 수신했다는 사실 뿐만 아니라 수신기의 코일이 자기 결합을 통해서가 아니라 전기장을 통해서 에너지를 수신했다는 것을 통해 분명하게 증명되었다. 스칼라 웨이브가 차폐 장치를 터널 효과를 통해 빛보다 빠른 속도로 통과해버린 것이다!

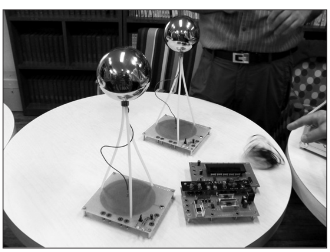
콘스탄틴 메일 교수

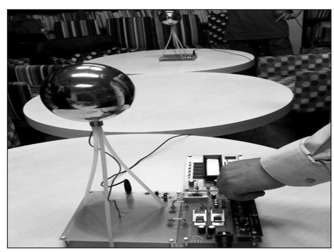

대담 중. 좌로부터 김현원 교수, 메일 교수, 이원규 대표, 드메오 박사



무선전력송신기


기판의 테스라코일


송수신장치


원격전력 송신 중

2부 : 스칼라 웨이브는 무엇인가?

들어가기 전에

전자기장에 대한 수많은 현상들이 맥스웰 방정식에 의해 충분히 정확하게 설명되었고 그 결과 맥스웰 방정식은 장에 대한 보편적인 설명으로 여겨지게 되었다. 그러나 더 자세히 들여다보면 맥스웰 방정식이 근사(近似) 된 방정식임을 알 수 있다. 근사의 과정에서 맥스웰 방정식의 물리적 또는 기술적 의미가 크게 달라졌고 때문에 우리는 맥스웰

방정식이 근사되기 전의 ‘확장된’ 방정식에 대해 살펴보아야만 한다. 확장된 방정식은 물리학에서 통일이론을 어떻게 찾아나갈 것인가에 대한 문제이기도 하며 한편으로는 새로운 기술들을 다룰 수 있는 기회이기도 하다. 본문에서 어떠한 가정도 없이 물리학 교과서로부터 엄격하게 유도하여 ‘스칼라 웨이브’가 나타나는 것을 보일 것이다. 스칼라 웨이브는 다양한 쓰임새가 있는데, 예를 들어 정보공학에서 반송파(Carrier wave)로 쓰일 수 있으며 무선전력전송이나 주변환경으로부터 에너지를 얻는 장치에도 쓰일 수 있다. 한편 파울리가 배타붕괴 현상에서 에너지 보존 문제를 설명하기 위해 도입했던 중성미자는 스칼라 웨이브의 형태로 공간을 이동할 수 있다. 중성미자 방사(Neutrino radiation) 현상은 에너지 공급을 위해 기술적으로 이용될 수 있을 것이다.

소용돌이와 반(反) 소용돌이

토네이도의 눈에서는 소용돌이와 반–소용돌이가 만나기 때문에 조용한 영역이 생기게 된다. 내부에서는 확장해나가는 소용돌이가 위치하며 외부에서는 수축해나가는 반–소용돌이가 위치하는데 하나의 소용돌이는 다른 소용돌이가 존재하기 위한 상호조건이다. 레오나르도 다빈치는 두 개의 소용돌이에 대해 알고 있었으며 둘이 ‘함께’ 존재한다고 서술하기도 하였다. 움직이는 소용돌이의 경우 점성도(Viscosity)가 소용돌이의 지름을 결정한다. 만약 바다 위에서 토네이도가 물을 빨아들인다면

그림 2. 토네이도는 소용돌이와 반–소용돌이의 물리적 원리를 쉽게 보여준다

수축하는 소용돌이가 우세하게 되고 그리하여 에너지 밀도가 무섭게 증가하게 된다. 그러나 대지에서 이동하고 빗물을 내뿜게 되면 토네이도는 다시 커지고 덜 위험해지게 된다. 욕조에서의 소용돌이도 비슷한 원리가 적용된다. 확장하는 소용돌이는 공기로 구성되어있고 수축하는 소용돌이는 물로 구성되어있다. 한편 욕조의 소용돌이는 잘 보이며 관측하는 데 다른 도구가 필요하지도 않다. 이론적으로도 욕조의 소용돌이는 유체역학을 통해 잘 설명된다. 하지만 전기공학에서는 상황이 달라진다. 전기공학에서는 장(field)들의 소용돌이가 보이지 않으며 충분히 이해되지도 않았다. 맥스웰 방정식은 확장하는 와전류(Eddy current)만을 서술하고 반-소용돌이는 무시함에도 유일하게 받아들여진 이론이 되었다. 토네이도의 크기가 점성도에 의해 결정되는 것과 비슷하게 전기공학에서는 전도도(Conductivity)에 의해 결정된다. 전도체에서는 두 개의 소용돌이로 구성되는 소용돌이 고리가 너무 크며 부도체에서는 소용돌이 고리가 너무 작다. 오직 반도체(전도도가 전도체와 부도체의 중간에 위치한 물질)와 저항물질에서만 소용돌이 고리 구조가 이따금씩 관측된다.

자연의 법칙, 소용돌이 물리학

맥스웰 방정식에는 근사 과정이 숨어있으며 때문에 와전류와 대응되는 반-소용돌이가 무시되었다. 만약 도체에 대해서만 생각한다면 이는 무시되어도 상관없다. 그러나 부도체에 대해서 생각한다면 근사된 맥스웰 방정식은 큰 오류를 발생시킬 수 있다. 예를 들어 번개가 치면 번개가 이동하는 통로가 만들어진다. 만약 부도체인 공기가 짧은 시간동안 도체가 되는 것이라면 여기에 어떠한 메커니즘이 숨어있는 것일까? 소용돌이 물리학의 관점에서는 정답이 명백하다. 우세한 반-

소용돌이가 수축하는 힘이 매우 강력해져 공기 중의 대전입자와 이온들을 좁은 공간에 모아 전도도를 높여준 것이다. 확장하는 힘과 수축하는 힘이 만들어내는 현상들은 물리학의 미시세계에서부터 거시세계에 까지 다양하게 나타난다. 고대 그리스에서는 이미 2,400년 전에 데모크리토스가 이러한 작용을 두고 '자연의 법칙'이라 명명하기도 하였다. 맥스웰 방정식에서는 이러한 관점이 무시되었고 이는 다른 여러 가지 가정들에 의해 대체되었다. 우리는 여러 가지 오류를 시정해줄 새로운 관점이 필요하며 이를 위해 맥스웰 이론을 넘어서야 한다.

패러데이와 맥스웰

물리학자들은 어떠한 관점이 합리적이고 근거가 충분하다면 자유롭게 어떠한 관점을 선택할 수 있다. 맥스웰 방정식은 암페어 법칙과 패러데이의 유도법칙에 대한 실험적 근거를 바탕으로 세워졌다. 맥스웰은 여기에 변위 전류 개념을 도입하여 방정식을 완성하였다. 생전에는 측정할 수 있는 장치가 없어 증명하지 못했지만 사후에 실험적으로 증명되었다. 유도법칙을 서술하는 데 있어 맥스웰은 자유로웠다. 패러데이가 다른 설명 없이 실험적으로만 보여주었기 때문이다. 패러데이에게는 수학적으로 설명하는 것보다 실험으로 보여주는 것이 훨씬 더 우선시되었다. 하지만 패러데이보다 40살 젊은 친구이자 교수였던 맥스웰은 패러데이와 완전히 다른 생각을 하고 있었다. 맥스웰은 전자기파를 빛과 동일한 것으로 설명하고 싶어 했고 파동에 대한 라플라스의 설명을 받아들여 장과 시간에 대한 이차미분을 취하였다. 왜냐하면 맥스웰은 시간에 대해 1차 미분을 취하고 있는 두 가지 방정식을 필요로 했고 여기에 변위 전류 개념을 도입하여 전자기 유도 법칙을 파동 방정식으로 이끌고 싶었기 때문이었다. 맥스웰의 이론은 처음에는 굉장

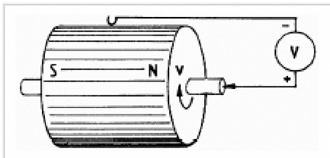
한 논란의 대상이었다. 그러나 맥스웰 방정식은 패러데이가 발견한 원리에 대한 충분한 수학적 설명을 하지 못했음에도 전기와 자기 현상을 하나로 묶었다는 사실 때문에 빠르게 인정받았다. 그렇지만 맥스웰과 패러데이의 관점이 다르다면 전자기 현상에 대한 잘못된 이해가 생길 수 있음은 이상한 일이 아닐 것이다. 우리는 둘 사이의 차이점을 살펴보아야 한다.

두 가지 다른 유도의 법칙

구리판을 자기장과 함께 두고 회전시키면 구리판이 움직이는 방향과 자기장의 방향에 수직하는 방향으로 전기장이 발생한다. 이를 두고 패러데이의 단극유도법칙이라고 하며 수학적으로는 "E(전기장) = v(상대속도) × B(자기장)"로 표현한다. 한편 맥스웰 방정식에서는 전기장과 자기장이 상대속도로 연결되지 않는다. 그 결과 맥스웰 방정식은 정지 상태에서 결과를 보여주지 못한다. 전기장과 자기장은 공간과 시간 모두의 지배를 받는다. 때문에 우리는 두 가지 서술방식이 서로 경쟁하는 것을 발견하게 되었고 이를 설명해야 할 필요를 느낀다.

위에서 볼 수 있는 차이점 중에서 예를 들어 전기장과 자기장이 결합되는지에 대한 문제의 경우 저주파 상황에서는 위 차이점이 무시될 수 있다. 그러나 고주파 상황에서는 전기장과 자기장이 서로 의존하게 된다. 저주파 상황에서는 마치 전기장과 자기장이 독립적으로 측정되는 듯이 보이지만 이것은 옳지 않다. 패러데이의 관점에서 주파수가 전혀 없는 경우에도 두 가지 장은 모두 존재한다. 그러나 수직으로 존재하므로 자기장이 전기장을 감싸는 모습이 나타나고 이것이 닫힌 고리 모양을 만들기 때문에 외부에서는 중립적으로 보여 관심을 끌지 못할 뿐이다. 패러데이와 맥스웰 관점의 차이는 전기장과 자기장의 교환

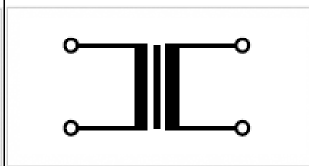
law of induction



unipolar generator

discovery of **Faraday**

$$\boxed{\mathbf{E} = \mathbf{v} \times \mathbf{B}} \quad (1)$$



e.g.: transformer

2^{nd} **Maxwell** equation

$$\boxed{\text{rot } \mathbf{E} = - \text{d}\mathbf{B}/\text{dt}} \quad (1^*)$$

Difference, e.g. in the (quasi-) stationary case (dB/dt = 0):

$\mathbf{E} \neq 0$ | $\mathbf{E} = 0$

Electric and magnetic field in the stationary case are:

coupled: **E**
mag. induction **B** (⊥)

Only **E** or **B** can form an open field line. The other field line is a closed-loop field line

decoupled: **E**
negligible **B**

Closed-loop field lines have no effect, can't be influenced and are neglected (Maxwell approximation!)

그림 3. 패러데이 단극유도의 경우 맥스웰 방정식의 경우와 달리 시간에 대한 자기장의 변화가 없는 경우에도 전기장이 존재하며 정지 상태에서 전기장과 자기장이 결합되어있다

관계에서도 나타난다. 어떻게 자기장과 전기장이 상대 속도로 연결될 수 있는가하는 문제인데 이는 전자기장이 무엇인가라는 본질적인 질문과 직접적인 관계가 있다. 맥스웰 방정식에 기 한 교과서에서는 대전입자가 전기장의 원인이고 대전입자의 움직임이 자기장을 만든다고 설명한다. 그러나 패러데이의 시대에는 대전입자의 존재가 전혀 알려지지 않았었다. 그 당시 패러데이는 크로아티아 예수회 성직자였던 보스코비치의 장(field) 개념에 기 하여 실험하였기 때문에 우리는 패러데이의 법칙을 해석할 때, 만약 우리가 자기장에서 움직인다면(상대속

도) 그것은 곧 전기장을 경험하는 것으로 이해해야한다. 많은 증거들이 광선이 입자가 없는 진공에서도 움직일 수 있음을 보여준다. 장은 입자가 없이도 존재할 수 있는 반면에 입자는 장이 없이 존재할 수 없다. 따라서 패러데이의 서술이 근본적이고 다른 제한들은 파생되어 설명되어야 한다. 이러한 점에서 일반적인 교과서의 설명은 전체 그림을 전부 보여주지 못하고 있다.

패러데이로부터 맥스웰 유도하기

전기장과 자기장의 이원성(duality)은 패러데이의 유도법칙을 두 가지 식으로 쓸 수 있게 한다. 아래와 같은 표현은 폴(Pohl)과 시모니(Simonyi)등의 책에서 볼 수 있으며 이는 19세기 후반 뢴트겐, 힘스테드, 롤런드 등에 의해 연구된 것인데 X선으로 유명한 뢴트겐을 제외하고는 오늘날 널리 알려진 사람들은 아니다. 앞으로 전개할 논리의 시작점이 되는 아래의 표현이 새롭게 가정한 내용이 아니라 교과서에서 인용된 내용임을 기억해주길 바란다. 이를 바탕으로 수식을 전개하여 패러데이의 서술로부터 맥스웰의 서술이 '특별한 경우'로서 유도될 수 있음을 보일 것이다.

바로 이 부분에서 자기단극자가 전기쌍극자와 달리 존재하지 않는

The new and dual field approach consists of
equations of transformation
of the electric and of the magnetic field<i>

$\boxed{\mathbf{E} = \mathbf{v} \times \mathbf{B}}$ (1) and $\boxed{\mathbf{H} = -\mathbf{v} \times \mathbf{D}}$ (2)

unipolar induction — equation of convection

그림 4. 전기장과 자기장의 이원성에 근거하여 패러데이의 유도 법칙을 표현

$$\boxed{\text{rot } \mathbf{E} = \text{rot } (\mathbf{v} \times \mathbf{B})} \quad (3) \quad \text{and} \quad \boxed{\text{rot } \mathbf{H} = -\text{rot } (\mathbf{v} \times \mathbf{D})} \quad (4)$$

그림 5. 그림 4의 식에서 양 에 rot(회전을 뜻하는 연산자)를 동등하게 추가하였다

$$\text{rot } \mathbf{E} = (\mathbf{B} \text{ grad})\mathbf{v} - (\mathbf{v} \text{ grad})\mathbf{B} + \mathbf{v} \text{ div } \mathbf{B} - \mathbf{B} \text{ div } \mathbf{v} \quad (3^*)$$

$$\text{rot } \mathbf{H} = -[(\mathbf{D} \text{ grad})\mathbf{v} - (\mathbf{v} \text{ grad})\mathbf{D} + \mathbf{v} \text{ div } \mathbf{D} - \mathbf{D} \text{ div } \mathbf{v}] \quad (4^*),$$

그림 6. 그림 5의 식을 잘 알려진 벡터 해석을 이용해 전개하였다

$$\begin{aligned} \text{rot } \mathbf{E} &= -\,d\mathbf{B}/dt + \mathbf{v} \text{ div } \mathbf{B} = -\,d\mathbf{B}/dt - \mathbf{b} \\ \text{rot } \mathbf{H} &= d\mathbf{D}/dt - \mathbf{v} \text{ div } \mathbf{D} = d\mathbf{D}/dt + \mathbf{j} \end{aligned}$$

그림 7. 등속 상대 운동을 한다고 가정할 때

$$\mathbf{j} = -\mathbf{v} \text{ div } \mathbf{D} = -\mathbf{v} \cdot \rho_{el} \quad , \qquad \mathbf{b} = -\mathbf{v} \text{ div } \mathbf{B} \quad (= 0\ ?)$$

그림 8. 맥스웰 방정식과의 비교를 통해 그림 6의 j와 b를 다시 썼다. 맥스웰 방정식에 의하면 b의 값은 0이 되어야 하는데 그것이 바로 맥스웰 방정식이 패러데이 식에 대하여 근사된 부분이다

것으로 여겨지면서 이원성을 상실하는 모습을 발견한다. 대전입자 등 구형입자는 두 가지 소용돌이를 전제로 하는데 내부에 위치하는 확장하는 소용돌이(div D) 그리고 외부에 위치하는 수축하는 반-소용돌이(div B)가 그것이다. 그동안 반-소용돌이 부분은 무시되어왔지만 잘못된 것이다. 우리는 다음과 같이 이해해야 한다.

> "맥스웰의 장 방정식은 이원성에 근거한 접근법에서 제한된 조건 하에 직접적으로 유도될 수 있다"

맥스웰 방정식에 가해진 제한(b=0)은 맥스웰 방정식이 성공적인 경

우에 있어 분명히 의미가 있고 합리적이다. 이러한 제한이 효과가 있는 전기동역학의 영역에서는 흔히 벡터 퍼텐셜(Vector potential)이 도입되며 복소수의 유전상수를 계산하여 손실각을 정할 수 있다. 수학적으로는 이러한 접근이 옳으며 유전 손실도 계산이 가능하다. 그러나 물리학적으로는 굉장히 의문스럽지 않을 수가 없다. 왜냐하면 복소수의 유전상수는 곧 복소수의 광속을 의미하기 때문이다(광속은 유전상수의 함수이다). 한편 전기동역학에서 벡터 퍼텐셜을 도입하는 것이 b를 무시하는 것을 대신할 수 있는지 생각해보자. 두 가지 경우가 결국 같은 결과를 가져올까? 그렇다면 그것의 물리적 의미는 무엇일까? 고전 전기동역학이 복소수의 상수에 의존한 이후로 극복할 수 없는 모순이 발생하였다. 그렇다면 새로운 접근 방법이 이러한 모순에서 자유롭게 만들어 줄 수 있는지 다시 수식으로 돌아가 보자.

$$\boxed{\mathrm{rot}\ \mathbf{H} = d\mathbf{D}/dt + \mathbf{D}/\tau_1 = \varepsilon\cdot(d\mathbf{E}/dt + \mathbf{E}/\tau_1)}$$

그림 9. 옴의 법칙(j = D / 완화상수)을 이용하여 식을 다시 썼다

$$\mathbf{b} = -\mathbf{v}\ \mathrm{div}\ \mathbf{B} = \mathbf{B}/\tau_2$$

그림 10. 이원성에 근거해 b를 그림 9에 대응하여 다시 썼다

$$\boxed{\mathrm{rot}\ \mathbf{E} = -d\mathbf{B}/dt - \mathbf{B}/\tau_2 = -\mu\cdot(d\mathbf{H}/dt + \mathbf{H}/\tau_2)}$$

그림 11. 그림 10를 이용해 식을 다시 썼다

그림 11은 전기장의 비회전성을 나타내는 맥스웰 이론과 대조적인 모습이다. 맥스웰 방정식은 그림 11에서 시간상수(τ2)가 무한대인 경우를 의미한다고 볼 수 있다. 이러한 맥스웰 근사는 전기장의 반-소용

돌이가 스칼라 웨이브로서 전파되는 것을 무시하는 결과를 만들었다. 때문에 맥스웰 방정식이 오로지 횡파만을 서술하며 종파는 서술하지 못하는 것이다. 실제로 안테나의 근역장(near-field)에서 맥스웰 방정식과 충돌하는 부분이 나타난다. 안테나의 근역장에서는 종파가 발생하고 기술적으로 측정되기 때문이다. 이러한 현상은 이미 대형상점 도난방지 시설에 응용되고 있다.

위의 유도과정은 누구도 반-소용돌이가 존재하지 않는다거나 스칼라 웨이브의 전파가 존재하지 않는다고 말할 수 없게 하였다. 맥스웰 방정식은 단지 위 결과의 특별한 경우에 해당될 뿐이다. 맥스웰은 전기장을 머물러있는 대전입자 그리고 자기장을 움직이는 대전입자의 결과로 서술하였다. 대전입자는 이러한 목적에서 가정된 것이고 그 결과 그들의 기원이나 내부 구조는 모르게 되었다. 예를 들어 쿼크는 증명되지 못하고 가설의 영역에 머무르게 되었다. 표준모델에서 정리한 입자들의 분류와 체계는 잃어버린 계산가능성(calculability)에 대한 불만족스러운 위로일 뿐이다.

반면 패러데이 법칙에 기 하는 장(field)의 관점은 보편적이고 다른 곳으로부터 유도될 수 없는 것이다. 장의 관점에서 기초 입자들과 그들의 양자적 성질들은 장 소용돌이로서 계산되어질 수 있다. 이러한 관점에서 장은 입자들에 대한 원인이 된다. 전기 소용돌이 장은 스스로 반-소용돌이 구조를 형성시키는데 이를 통해 대전입자의 형성을 설명할 수 있다. 이는 수학적으로 그리고 물리적으로 증명될 수 있다. 또한 이러한 새로운 접근 방법은 통일 이론으로 가는 길을 보여준다. 통일 이론은 상대성 이론 대신에 절대성 이론이 될 것이다. 맥스웰 이론이 패러데이 관점의 특수한 경우로서 유도되었듯이 상대성 이론은 절대성 이론의 특수한 경우로 유도될 수 있을 것이다. 이를 위해 먼저

패러데이 관점에서의 파동 방정식을 살펴볼 필요가 있다.

새로운 파동방정식과 그 의미

그림 12의 식이 새로운 접근으로부터 유도될 수 있는지 알아보기 위

$$\boxed{\Delta \mathbf{H} \cdot c^2 = d^2\mathbf{H}/dt^2} \quad \text{with} \quad \boxed{\Delta \mathbf{H} = \text{grad div } \mathbf{H} - \text{rot rot } \mathbf{H}}$$

그림 12. 맥스웰의 비동질 라플라스 방정식

해 그림 8로부터 다시 시작해보자. 이번에는 자기 유도 B에 대해 서술하고 공기 중에서 파동이 전파되는 경우처럼 매질의 전도도가 작은 특별한 경우를 생각해보자. 이 경우 (그림12-1) $1/\tau_1 = \sigma/\varepsilon$는 0에 가까워질 것이고 와전류와 기타 성질들은 장 방정식에서 사라질 것이다. 그러면 그림 8의 식은 아래와 같이 다시 쓸 수 있다.

그림 15에서 우리는 더 일반화된 새로운 파동방정식을 볼 수 있다.

$$\text{rot } \mathbf{B} = \mu \cdot \varepsilon \cdot d\mathbf{E}/dt$$

그림 13. 그림 9를 다시 썼다

$$\boxed{-\,c^2 \cdot \text{rot rot } \mathbf{B} = \frac{d^2\mathbf{B}}{dt^2} + \frac{1}{\tau_2}\frac{d\mathbf{B}}{dt}}$$

그림 14. 그림 13의 양변에 rot 연산자를 취하고 그림 11의 식을 대입하여 정리하였다

$$\boxed{v^2 \text{ grad div } \mathbf{B} - c^2 \text{ rot rot } \mathbf{B} = \partial^2\mathbf{B}/\partial t^2}$$

longitudinal	transverse	wave
with v = arbitrary	with c = const.	velocity of propagation

그림 15. 그림 14에 그림 10을 대입하고 벡터 해석을 이용해 다시 정리하였다

새로운 파동방정식은 종파 부분과 횡파 부분으로 분류될 수 있는데 각각이 다른 속도로 이동하는 것을 볼 수 있다. 횡파 부분은 상수인 빛의 속도로 움직이는 반면 종파 부분은 임의의 속도 v로 이동하고 있다. 임의의 속도 v를 빛의 속도 c로 한정시키면 그림 15의 식이 다시 그림 12로 돌아가는 것을 볼 수 있다. 그림 12가 그림 15의 특별한 경우로서 유도되는 것이다. 한편 그림 15에서 횡파는 파동의 진행방향에 수직한 방향으로 장 벡터가 존재하는 반면 종파는 파동의 진행 축에 장 벡터가 존재한다. 때문에 횡파의 경우 전파 속도가 분리된 상태로 존재하여 상수 c가 되는 반면 종파의 경우 위상 속도가 영구적으로 변화하며 단지 평균적인 군속도를 알 수 있을 뿐이다. 속도 v에 대한 제한은 없으며 v가 c가 되는 것은 특별한 경우에 제한된다. 위의 새로운 일반적인 파동방정식은 기존 횡파만을 포함하는 파동방정식의 한계를 극복하여 상대성 이론을 특별한 경우로서 포함하는 절대성 이론을 제시할 수 있을 것이다. 이는 통일 이론의 기초가 될 것이다.

스칼라 웨이브를 어디에 사용할 것인가

위에서 맥스웰의 장 방정식에 근사가 숨어있다는 사실을 통해 더 일반적인 형태의 식을 정리하였다. 그리하여 우리는 이원성으로 당연히 존재하여야 하는 반-소용돌이를 재발견할 수 있었다. 그동안 무시되어온 반-소용돌이 부분은 전도도가 작은 공기나 진공에서 스칼라 웨이브로서 종파의 형태로 전파될 수 있다. 노이즈는 맥스웰 방정식이 반-소용돌이 부분을 무시해왔다는 반증이다. 안테나에서 노이즈 신호가 측정되는 것 외에도 생물학의 영역에서도 반-소용돌이의 증거가 발견되어왔다. 우리는 반-소용돌이를 이용해 새로운 기술을 발전시켜 나갈 수 있을 것이다. 반-소용돌이는 입자로 하여금 에너지를 운반할

수 있게 한다. 우리가 이미 노이즈 소용돌이들에 의해 둘러싸여있음을 생각할 때 스칼라 웨이브를 이용해 주변의 에너지를 사용할 수 있을 것이다. 이미 생물계에서는 이와 관련한 여러 가지 증거들이 발견되었다. 또한 우리는 이미 교류의 발견을 통해 스칼라 웨이브 연구에 대한 중요한 진전을 이룬 바 있다. 한편 스칼라 웨이브에서는 파장과 진동수의 곱이 더 이상 전파속도가 아니다. 파장과 진동수가 분리되었기 때문이다. 그들은 독자적으로 변조될 수 있으며 때문에 기존 헤르츠파에 비해 더 훌륭한 변조 조건을 제공할 수 있다. 이것이 인간의 두뇌가 단지 10Hz의 주파수로 작동하면서도 1GHz의 현대 컴퓨터보다 더 효율적으로 작동할 수 있는 이유이다. 자연은 항상 최상의 방법으로 작동한다. 단지 우리가 이해하지 못할 뿐이다.(끝)

저자 | **콘스탄틴 메일**(Konstantin Meyl) | 콘스탄틴 메일 박사는 푸르트방엔 응용과학 대학교에서 전력전자공학과 대체에너지기술을 가르친다.
15세 때 이미 와상전류 브레이크 측정에 성공했고 뮌헨공대 학위논문(1979)과 슈투트가르트대학교 박사논문(1984) 주제도 와상 전류의 3차원 계산이었다. 박사는 바우크네히트사의 개발 대표이자 허가자로, 샹트 게오르겐 테크놀로지 센터로 옮겨가, 1988년부터 2003년 3월까지 슈타인바이스재단의 전력전송센터를 이끌었다. 2003년 4월부터 최 의 스칼라파 전력전송센터가 영구화되었다. 교수 자격을 얻은 후(1986) 메일 박사는 전자기장 와류 연구를 다시 시작했다. 1990년 1월 1일 밤 실험실에서는 안됐지만 책상에서는 발생했던 포텐셜 소용돌이를 발견했다. '포텐셜 소용돌이(Potential Wirbel)' 제1권(1990)과 2권(1992)은 1994년 독일 EMV기술학회의 기술상을 수상했다. 그 상은 EMC 섹터에서 그 이론의 중요성을 입증하는 것이다. 긍정적인 평가에 고무되어 메일 박사는 책의 후편집 을 중단하고 '전자기적 환경 양립가능성'이라는 강의를 1995년부터 시작했다. 그는 포텐셜 보텍스 분야에서 가장 종합적인 분석을 해내고 있다.

역자 | **박은식**