



곽찬우 경남 영문중 1
김승하 서울아문초 6

14

투명 인간이 될 수 있을까요

A



석원경 교수가 답하다

누구의 눈에도 띄지 않는 투명 인간은 판타지 소설의 단골 소재입니다. 판타지 소설 ‘해리 포터’에서는 마법이 걸린 망토를 둘러서, 그리고 ‘반지의 제왕’에서는 반지를 착용해서 투명 인간이 되죠. 영국의 소설가 허버트 웰스의 SF 소설 ‘투명 인간’에서는 신비한 합성 물질을 이용합니다.

그런데 소설이 아닌 현실 세계에서 투명 인간을 만들 수 있는 물질이 개발되고 있습니다. ‘초월하다’라는 의미의 접두어 ‘메타(meta-)’가 붙은 새로운 소재, 메타 물질(metamaterial)입니다.

오묘함을 만드는 빛의 광학 효과

투명성은 빛과 관련 있는 성질입니다. 빛이 물질의 원자 사이를 그대로 통과하면 투명하게 보입니다. 고체와 액체, 기체를 각각 살펴보죠. 고체

는 원자 사이의 거리가 짧고 제멋대로 배열돼 있기 때문에 빛이 통과하지 못합니다. 반면 액체나 기체는 원자 사이의 거리가 빛의 파장보다 길어서 그 사이를 빛이 통과합니다. 그래서 대부분의 고체는 불투명하고, 대부분의 액체나 기체는 투명합니다.

하지만 모든 고체가 불투명한 것은 아닙니다. 결정성 고체는 원자가 규칙적으로 배열돼 있기 때문에 그 틈으로 빛이 통과할 수 있습니다. 우리는 주원료인 석영을 액체 상태가 될 때까지 높은 온도로 가열했다가 빠르게 식혀 만듭니다. 그 결과 액체와 비슷한 원자 배열을 하게 되고 빛이 그대로 통과해 투명합니다.

빛이 그대로 직진하지 못하고 다른 매질을 만나면 반사, 굴절, 회절과 같은 다양한 광학 현상이 나타납니다. 푸른 하늘, 불타는 저녁노을, 화려한 무지개는 모두 광학 현상 때문에 나타나는 자연 현상입니다. 강바닥이 실제보다 얇게 보이는 것도 마찬가지입니다. 우리 눈에 보이는 세상의 모습에는 언제나 광학 효과가 포함돼 있습니다. 세상의 진짜 모습을 보려는 철학자들의 고민이 더 깊어집니다.

거울과 렌즈, 프리즘은 광학 현상이 적극적으로 활용하는 기구입니다. 자신의 모습을 비춰볼 수도 있고, 멀리 있는 물체를 자세하게 살펴보거나 작은 물체를 확대해서 관찰할 수도 있습니다. 덕분에 우리는 우주와 생명의 신비를 한 꺼풀 벗겨낼 수 있었죠.

광학 현상을 결정하는 가장 중요한 성질은 매질의 굴절률입니다. 굴절률은 진공에서의 빛의 속도를 매질에서 빛의 속도로 나눈 값으로 정의합니다. 굴절률은 매질을 구성하는 원자핵이나 전자 등 전하를 가진 입자들이 빛의 진행을 방해하는 정도를 가리킵니다. 빛의 속도가 25% 줄어드는 물(액체)의 굴절률은 1.33, 공기는 1.000293, 유리는 1.54, 다이아몬드는



2.42입니다. 매질의 밀도가 높으면 방해하는 입자들이 많아 굴절률도 높아집니다. 굴절률은 빛의 파장에 따라서도 달라집니다. 파장이 짧아질수록 굴절률이 높아집니다. 그래서 상대적으로 파장이 짧은 푸른색이 붉은색보다 더 많이 휘어집니다.

음수의 굴절률을 가진 메타 물질

과학자의 상상력에는 한계가 없습니다. 1960년대 러시아의 이론물리학자 빅토르 베세라고는 굴절률이 음수인 물질을 탐구했습니다. 바로 메타물질입니다. 광학 이론상으로는 굴절률이 반드시 양수여야 할 이유가 없습니다. 다만 자연에서는 굴절률이 음수인 경우가 관찰되지 않았기 때문에 과학자들의 관심을 끌지 못했을 뿐입니다.

베세라고의 이론적인 분석 결과는 놀라웠습니다. 지금까지 우리가 알고 있던 대부분의 광학 현상이 거꾸로 뒤집어졌습니다. 메타 물질 프리즘을 통과한 빛은 기존 방향과 정반대로 휘어지고, 붉은색 빛이 푸른색 빛보다 더 많이 휘어집니다. 메타 물질을 헤엄치는 물고기는 수면 위에 떠서 헤엄치는 것처럼 보이게 됩니다. 도플러 효과(Doppler effect) 역시 기존과는 반대로 나타납니다. 우주 팽창의 도플러 효과로 더 붉게 보이던 별들이 메타 물질의 세계에서는 더 푸른색으로 보이게 됩니다.

메타 물질은 판타지 소설에서나 볼 수 있을 것 같았던 투명 망토를 실현할 수 있습니다. 망토의 뒤편에 있는 물체에서 반사된 빛이 마치 투명 망토를 통과한 것처럼 보이기 때문입니다. 이외에도 메타 물질이 쓰일 수 있는 분야는 다양합니다. 이론적으로 굴절률이 양수인 기존의 광학 현미경으로는 빛의 파장보다 작은 물체는 볼 수 없습니다. 그래서 크기가 마

이크로미터보다 더 작은 바이러스를 관찰하려면 광학 현미경 대신 전자 현미경을 사용해야 했습니다. 그런데 메타 물질로 만든 ‘슈퍼 렌즈’를 사용하면 빛의 파장보다 작은 물체를 볼 수 있게 됩니다. 바이러스는 물론이고 나노미터 크기의 분자들도 직접 관찰할 수 있습니다.

과학의 세계에서는 상상이 곧 현실이 되기 마련이죠. 메타 물질도 마찬가지였습니다. 2006년 미국 듀크대 데이비드 스미스 교수는 메타 물질을 실제로 만들어냈습니다. 구리 속에 유리 섬유를 넣어 만든 이 물질은 마이크로파를 그대로 통과시킵니다. 물론 데이비드 교수의 메타 물질로는 상상 속 투명 망토를 완벽하게 실현할 순 없었습니다. 가시광선은 파장이 수백 나노미터이기 때문에 실제로 투명하게 보이려면 메타 물질이 통과시키는 파장이 더 짧아야 합니다. 현재 한국을 포함한 여러 나라의 물리학자들이 투명 망토 소재를 개발하고 있습니다.

물론 실용적인 투명 망토가 개발될 수 있을지는 분명하지 않습니다. 게다가 천처럼 바람에 휘날리는 물질은 굴절률을 일정하게 유지할 수 없습니다. 외부의 영향을 받지 않는 금속 재질이 되어야 할 것입니다.

메타 물질은 슈퍼 렌즈, 다양한 초소형 광학 소자를 개발하는 플라즈모닉스(plasmonics) 분야에서도 연구가 진행되고 있습니다. 광학 필터, 의료 기기, 초음파 센서 등으로도 활발하게 활용될 것으로 예상됩니다.

메타 물질은 균일한 조성을 가진 순물질이 아닙니다. 대부분 두 가지 이상의 물질로 만들어진 나노 구조물입니다. 내부의 구조가 빛의 파장보다 훨씬 작아야만 독특한 광학적 특성이 나타나기 때문입니다. 앞으로 나노 과학이 발달하면 더욱 다양한 메타 물질이 개발될 것이라 기대합니다.