

마이컬슨·몰리실험, 로렌츠변환 그리고 상대성이론의 재해석

권오혁(부경대 교수)

요 약

본 연구는 아인슈타인이 제시한 동시성 실험을 재구성하는 등 다양한 사고실험을 통해 마이컬슨·몰리실험 결과와 로렌츠변환, 상대성이론의 방정식을 재해석한다. 특히 이러한 사고실험들을 통해 마이컬슨·몰리실험 결과와 상대성이론의 방정식이 상대성 원리와 상충됨을 밝히려 한다. 더하여 뉴턴의 절대공간 관점에서 절대공간에서의 물체의 속력이 길이, 질량, 시간에 영향을 미친다는 가설을 제시하고 그러한 가설이 마이컬슨·몰리실험 결과, 로렌츠변환, 상대성이론의 방정식 등과 서로 상합될 수 있음을 논증할 것이다. 또한 이 연구 결과는 질량증가, 길이 수축 및 시간의 팽창이 물질 자체에만 적용되며 관성계(좌표계)에 있어서 공간에 영향을 미치지 못함을 지적한다. 그런 점에서 시공간의 연속성을 부정한다.

이 논문은 다음과 같이 구성되었다. 먼저, 본 연구에서 바라보는 우주와 공간, 시간에 대한 기본 가설을 제안한다. 그리고 이러한 관점을 지지하는 다양한 사고실험들과 그간의 실험 및 관측결과에 대한 재해석을 통해 가설의 논거를 제시한다.

목 차

1. 서 론
2. 주요 가설 : 우주·공간·시간에 대한 본연구의 관점
3. 가설의 검증
 - 3.1 상대성원리(상대공간)의 모순과 절대공간의 타당성
 - 사고실험 1-1 : 광속 기차의 시계 비교(1)
 - 사고실험 1-2 : 광속 기차의 시계 비교(2)
 - 사고실험 1-3 : 광속 기차의 천정 거울에 레이저 쏘기
 - 사고실험 1-4 : 우주선에서의 마이컬슨·몰리실험(1)
 - 사고실험 1-5 : 우주선의 삼각막대(삼각함수의 역설)
 - 사고실험 1-6 : 달리는 기차에서 본 외부 시계
 - 사고실험 1-7 : 마주 보고 달리는 기차에서 속력 측정
 - 사고실험 1-8 : 질량증가의 상대성 문제
 - 사고실험 1-9 : 쌍둥이 역설의 모순
 - 사고실험 1-10 : 가속도 운동에서의 관성력 문제
 - 3.2 길이수축 : 공간수축 vs 물체수축
 - 사고실험 2-1 : 동시성 실험의 분석과 공간수축 문제
 - 사고실험 2-2 : 우주선에서의 마이컬슨·몰리실험(2)
 - 사고실험 2-3 : 우주선에서의 마이컬슨·몰리실험(3)
 - 사고실험 2-4 : 우주선 밖으로 연장된 마이컬슨·몰리실험 장치
 - 사고실험 2-5 : 우주선의 길이수축이 우주선 내 물질의 운동에 미치는 영향
 - 사고실험 2-6 : 앞뒤 동체가 체인으로 연결된 우주선
 - 사고실험 2-7 : 앞뒤 동체가 쇠막대로 연결된 우주선
 - 사고실험 2-8 : 공간의 결여와 중복
 - 3.3 시간지연 : 시공간은 연속적인가?
 - 사고실험 3-1 : 회전하는 물통에 부착된 시계(1)
 - 사고실험 3-2 : 회전하는 물통에 부착된 시계(2)
 - 사고실험 3-3 : 소행성이나 운석에 부착된 시계
 - 사고실험 3-4 : 요동하는 우주선의 시간지연
4. 실험 및 관측 결과의 검토
 - 4.1 특수상대성이론과 관련된 실험 및 관측의 검토
 - 4.2 일반상대성이론과 관련된 실험 및 관측의 검토
 - 4.3 종합
5. 결론

1. 서 론

마이컬슨·몰리 실험은 빛의 속도가 어디에서나 어떤 방향으로나 항상 동일하다는 중대한 난제를 19세기 물리학에 던졌다. 이를 해결하기 위해 여러 물리학자들이 다양한 아이디어를 내놓았고 이것들을 종합하여 로렌츠가 로렌츠변환이라는 방정식을 제시하였다. 그리고 아인슈타인은 1905년에 역사적인 특수상대성 이론을 발표하였다.

특수상대성이론은 운동하는 관성계에 있어서 시간지연, 길이수축, 질량증가 현상을 이론적으로 설명하고 운동하는 좌표계 간에 상대성원리를 도입하여 시공간과 물질운동 간의 관계를 재정리하였다. 아인슈타인은 나아가 등속의 관성운동을 넘어서 가속도운동과 중력에도 적용될 수 있는 일반상대성이론을 발표하기에 이른다. 일반상대성이론이 발표된 후 지난 100년 동안 여러 실험과 관측들은 아인슈타인의 방정식이 옳았음을 확인해 주고 있다. 오늘날 학계는 아인슈타인의 특수상대성이론과 일반상대성이론이 뉴턴의 역학을 훨씬 더 정교하게 발전시킨 것이며 그가 제시한 방정식이 적어도 현재까지는 운동 역학을 설명하는데 있어서 최선의 결과를 보여준다는데 이견이 없다. 나아가 아인슈타인의 상대성이론은 물질과 에너지의 등가성을 밝혔고, 뉴턴의 절대공간, 절대시간을 대체하는 상대공간, 상대시간을 제시하여 시공간의 개념을 바꾸어 놓았다.

그러나 아인슈타인의 이러한 이론 모델과 해석은 여전히 불명확하고 이해하기 힘든 측면을 남겨두고 있다. 상대성이론이 처음 나왔을 때 이 이론을 이해하는 사람이 전 세계에 3명밖에 없다는 말도 있었지만 100년이 넘게 지난 지금에도 이 이론을 쉽고 간명하게 설명할 수 있는 사람은 극히 드물다. 상대성원리는 한편으로 자명해 보이지만 다른 한편으로는 경험에 대해 모순적인데 이러한 모순적 상황을 설명하는 것이 결코 간단하지 않은 것이다.

예컨대 광속에 가까운 속도로 날아가는 우주선을 외부에서 보면 우주선의 길이가 줄어들고 시간이 느려지는 것으로 보이지만, 우주선에서 보면 외부 세계의 길이가 수축되고 시간이 느려진다는 설명은 경험에 반하며 논리적으로도 납득하기 어렵다. 날아가는 우주선의 속도가 높아지면 우주선의 질량이 증가한다는 설명은 이해가 되지만, 우주선에 탄 사람의 입장에서는 반대편으로 운동하는 관성계(우주) 전체의 질량이 증가하는 것일 수도 있다는 설명은 사람들을 어리둥절하게 만든다.

우주선과, 우주선 외부 세계에 있어서 질량증가, 길이수축과 시간지연은 실제인가 아니면 겉보기 효과에 불과한 것인가? 이 간단한 문제에 관해서도 학자들마다 설명이 상이하며 전문 서적들 간에도 차이가 있다. 그리고 우리는 이런 질문을 하게 된다. 모든 움직이는 물체에 대해 우주 전체가 상대적 좌표계로서 반응한다면 우주의 시간과 길이는 도대체 어떻게 되는 것일까?

이 모든 난문의 중심에는 아인슈타인이 제안한 상대성원리가 자리 잡고 있다. 사실, 운동하는 물체에 있어서 길이수축이나 시간지연, 질량증가는 어느 정도의 물리학적 지식을 갖추면 이해할 수 있다. 하지만 두 좌표계 사이의 절대적 기준을 제거한 상대성원리는 참으로 이해하기 어려운 난제를 던져온 것이다.

더구나 아인슈타인은 이러한 관점에서 시간과 공간이라는 우주의 두 차원을 혼합하고 여기에다 물질의 운동까지를 연계하여 놓았다. 우리의 경험세계에서 완전히 달리 인식되는 대상을 단일한 차

원으로 통합함으로써 물리학을 잘 알지 못하는 사람들에게 우주를 감히 이해할 수 없는 어떤 것으로 만들어 놓은 것이다.

본 연구는 다양한 사고실험을 통해 마이컬슨·몰리실험 결과와 로렌츠변환, 상대성이론의 방정식을 새로운 관점에서 해석하고자 한다. 특히 뉴턴의 절대공간 관점에서 세 가지 연구성과(마이컬슨·몰리실험과 로렌츠변환 그리고 상대성이론의 방정식)를 재해석하며 이들이 서로 상합될 수 있음을 밝힐 것이다. 나아가 새로운 사고실험과 그간의 관측결과들이 아인슈타인의 상대성원리와 상충한다는 사실을 논증하려 하는바, 이 연구결과에 의하면 상대성이론의 방정식이 상대성원리와 모순된다.

본 연구의 관점은 상대성원리의 상대공간 개념을 폐기하고 절대공간을 재도입한다. 뿐만 아니라 운동하는 물질(물체)에 있어서 길이수축, 시간지연, 질량증가가 물질 자체에서 발생하며 공간(의 변형)과 관련되지 않는다고 본다. 이 연구결과가 제시하는 우주는 절대공간과 물질 및 에너지로 구성된다. 절대공간은 물질을 담는 그릇이자 뉴턴이 회전하는 물통 실험으로 입증한 절대 좌표계이다. 물질 및 에너지는 절대공간에 자리를 잡고 있으며 스스로 운동한다. 시간은 기본적으로 물질들의 자체적인 진동과정(양자역학의 $E=\hbar\omega$ 에서 진동수 ω)이라고 할 수 있다. 어떤 물질의 진동주기가 다른 물질들보다 느려지면 시간이 상대적으로 느리게 갈 것이다.

이런 점에서 이 논문은 뉴턴의 절대공간 개념과 아인슈타인의 상대적인(변화 가능한) 시간, 길이, 질량 개념을 통합하는 시도이다. 그것은 19세기 말의 전자기 연구자들, 특히 로렌츠의 관점에 가깝다. 그러나 맥스웰, 피츠제럴드, 로렌츠 등은 빛의 속도가 항상 일정하게 관측되는 현상을 물질, 시간, 공간의 관계 측면에서 명확히 정리하지 못했다.

이 논문은 다음과 같이 구성되었다. 먼저, 본 연구에서 바라보는 우주와 공간, 시간에 대한 기본 가설을 제안한다. 그리고 이러한 관점을 지지하는 논거를 제시한다. 이 연구는 마이컬슨·몰리실험 결과를 아인슈타인의 동시성 실험과 결합하여 재해석하고 이외에도 다양한 사고실험들을 제안하고 분석한다. 더하여 상대성이론을 검증하는 측정 및 실험결과들을 검토한다.

2. 주요 가설 : 우주·공간·시간에 대한 본연구의 관점

19세기 말부터 수차에 걸쳐서 반복적으로 수행된 마이컬슨·몰리실험은 공간상에 분포하고 있을 에테르를 검증하기 위해 고안되었지만 결과적으로 에테르가 존재하지 않을 뿐 아니라 어떤 상황에서도 빛의 속도가 일정함을 보여주었다. 그리고 이 당혹스런 실험결과를 해명하기 위해 다양한 논리와 방정식들이 제안되었는데 이를 종합한 것이 로렌츠변환이며 아인슈타인의 특수상대성이론이다. 이 두 모델은 움직이는 물체나 관성계가 자체적으로 시간지연과 함께 길이수축과 질량증가를 수반할 수 있음을 밝혔다.

하지만 두 모델 사이에는 기본적인 차이가 있다. 로렌츠 등이 공간상에서 움직이는 물체의 시간 지연과 길이수축을 상정한데 대해, 아인슈타인은 이러한 현상이 운동하는 관성계에서의 시간과 공간의 변화로 해석하였으며 나아가 그러한 현상이 관성계 사이에서 상대적으로 나타날 수 있다는 상대성 원리를 제창하였다. 아인슈타인은 뉴턴의 절대공간, 절대시간 개념을 부정하고 새로운 시공간 개념을 제안한 것이다. 그의 아이디어는 처음에는 크게 주목받지 못했지만 일반상대성이론이 제출되고 그것이 관측과 실험을 통해 검증되면서 정성과학의 지위를 부여받게 되었다.

그러나 아인슈타인의 특수·일반상대성이론의 방정식이 타당하다고 해서 그와 관련된 아인슈타인의 가정과 해석이 옳았음이 자동적으로 보증되는 것은 아니다. 특히 아인슈타인이 제안한 상대성 원리는 거의 공리처럼 받아들여지고 있지만, 경험적, 이론적으로 검증된 것이 아니다. 우주가 실제로 상대공간과 4차원의 시공간으로 구성되어 있는지는 확인된 바 없다. 필자는 이러한 아인슈타인의 상대성 가정과 그것을 바탕으로 한 해석에 의문을 제기하며 그것의 자체적인 모순점을 밝히려 한다. 그리고 이를 바탕으로 뉴턴의 절대공간론을 재도입하여 현대물리학의 연구 성과를 접합하고자 한다.

본 연구는 우주가 기본적으로 절대공간과 물질 및 에너지로 구성되어 있다고 간주한다. 이때 물질과 에너지는 상호 변환이 가능한 등가의 것으로, 이들을 통괄하여 광의의 물질이라고 할 수 있다. 이들이 상호 변환이 가능한 등가의 것이라는 사실은 아인슈타인의 $E=mc^2$ 이라는 방정식이 알려준다. 물질과 에너지는 우주를 구성하고 우주 안에서 운동하는 물리적 실체이다. 물질은 질량과 부피를 가지지만 에너지는 그러한 것을 갖지 않는다.

절대공간은 뉴턴이 회전하는 물통실험을 통해 입증한 절대좌표계로서 절대공간이다. 절대공간은 단순히 비어있는 무의 존재가 아니라 매우 특징적인 성질을 가진 실체이며 이에 관해서는 뉴턴이 이미 설명한 바 있다. 그리고 물질과 에너지는 이 절대공간에 들어 있는 또 다른 실체이다.

우주의 시간은 모든 물질에 대해 동일하게 진행되는 뉴턴의 절대시간이 아니다. 시간은 물질이 가지는 기본 진동(예컨대 원자의 진동)과정이며 물질의 진동은 물질의 운동 상태나 중력의 영향을 받는다. 이런 점에서 공간과 시간은 상호 독립적이며 시간은 공간과 연속되어 있지 않고 물질에 의존한다.

우리는 이러한 본 연구의 관점을 다음과 같이 가설로서 정리할 수 있을 것이다.

가설 1. 우주 공간은 3차원의 절대공간이다.

가설 2. 빛(전자기파)과 중력은 절대공간에 대해 c 의 속력으로 운동하며 물질의 운동에 대해 관성을 갖지 않는다.

가설 3. 질량을 가진 물질(이하 물질)은 절대공간에 대해 다양한 속도로 운동하며 기본적으로 관성운동을 한다.

가설 4. 물질은 절대공간 상에서의 운동속력과 중력에 따라서 운동 및 중력 방향으로 길이가 수축된다.

가설 5. 물질은 절대공간 상에서의 운동속력과 중력에 따라서 자체 진동이 느려지며, 그에 따라 시간지연이 발생한다.

가설 6. 물질은 절대공간 상에서의 운동속력과 중력에 따라서 질량이 증가한다.

가설 7. 절대공간 상에서의 운동속력 및 중력에 따른 물질의 길이수축, 시간지연 그리고 질량증가의 비율은 로런츠변환식 및 일반상대성 이론의 방정식과 일치한다.

이상의 7가지 가설은 우주·공간·시간에 대한 본 연구의 기본 관점으로서, 각각의 가설을 부연 설명하면 다음과 같다.

가설 1. 우주 공간은 3차원의 절대공간이다.

공간은 고정된 절대 좌표계로서 완전히 비어 있지만 다양한 자체적인 성질을 가진다. 공간은 물질이나 에너지와는 독립적으로 존재하며 물질로부터 어떠한 영향도 받지 않는다. 에테르나 암흑물질 등의 존재 여부와도 무관하다. 에테르나 암흑물질이 존재한다고 하더라도 그것은 물질일 뿐이다. 공간 안에 위치한 물질은 공간의 일부를 점하고 제각기 운동하는바 이러한 운동은 공간의 성질과 규칙에 지배된다.

한편으로 공간은 3차원의 좌표계이다. 공간이 3차원이란 사실은 점을 움직이면 1차원의 선이 되고 선을 움직이면 2차원의 면이 되며 면을 이동시키면 3차원의 공간이 되지만 공간을 아무리 움직여도 여전히 3차원 공간일 뿐이라는 관찰과 경험으로부터 알 수 있다. 더하여 물리법칙들에 의하면 빛(전자기파), 열, 중력과 등이 공간상에서 퍼져나갈 때 거리의 제곱에 반비례해서 약화되는바 이는 공간이 3차원임을 확인해 준다.

가설 2. 빛(전자기파)과 중력은 절대공간에 대해 c 의 속력으로 운동하며 물질의 운동에 대해 관성을 갖지 않는다.

에너지의 공간상 흐름으로서 빛(전자기파)과 중력은 절대공간에 대해 절대운동을 한다. 빛 등은 진공상태에서 절대공간에 대해 c 의 속력을 유지하며 c 는 모든 물질들이 절대공간에 대해 가질 수

있는 최고 속력이다. 빛과 중력이 절대공간에서 c 의 속력으로 운동할 수 있는 것은 그것들이 질량을 가지지 않는 것과도 연관되어 있을 것이다. 특수상대성이론에 의하면 물질의 운동은 질량을 증가시키고 질량의 증가는 운동속력을 제한하기 때문이다.

빛의 운동은 물질들의 운동에 대해 독립적이며 운동관성의 영향을 받지 않는다. 이는 달리는 기차나 날아가는 우주선에서 앞을 향해 빛을 쏘든지 뒤쪽으로 빛을 쏘든지 빛의 속력이 일정하다는 사실로부터 확인된다.

절대공간에 대해 빛의 속력이 c 로 일정하다는 사실과 관성계(혹은 좌표계)에서 빛의 속력이 항상 c 로 측정되는 것은 관련성이 없지는 않지만 서로 구별되는 문제이다. 관성계에서 빛의 속력(상대 속도)이 일정하게 측정되는 것은 빛의 왕복운동을 측정한데다, 물질의 길이수축, 시간지연 효과가 합성된 결과이다. 만약 빛의 일 방향 속도를 측정할 수 있다면 빛의 상대속도는 c 를 초과하거나 c 보다 작을 것이다. 이런 점에서 이 연구는 특수상대성이론의 광속불변(빛의 상대속도 일정) 가정을 부정한다.

가설 3. 물질은 절대공간에 대해 다양한 속도로 운동하며 기본적으로 관성운동을 한다.

질량을 가진 물질(이하 물질)들 역시 절대공간 상에서 절대운동을 한다. 그런 점에서 물질의 운동은 절대공간의 규칙에 따르며 빛의 운동과 다를 바 없다.

물질의 운동이 빛의 속력 c 를 넘어설 수 없다는 것은 절대공간에 대한 운동을 의미한다. 물질들 간 상대운동은 c 를 넘어설 수 있다. 또, 절대공간 상에서의 물질의 속도는 다양하며 개념적으로는 정지 상태도 가능하다.

물질의 운동이 전자기력, 중력의 운동과 결정적으로 다른 점은 물질은 관성운동을 한다는 점이다. 물질이 관성운동을 한다는 것의 의미는, 외부의 힘을 받지 않는 한 절대공간에 대해 일정한 속력으로 진행방향을 유지하면서 운동한다는 것이다. 더하여 기존의 물질 운동이 새로이 발생한 물질 운동에 영향을 준다는 것이다.

이러한 물질의 관성운동으로 인해 물질은 관성계 혹은 좌표계를 형성한다. (예컨대 등속운동을 하는 우주선은 하나의 관성계를 형성한다.) 하지만, 이 관성계에는 물질만 포함되며 전자기력이나 중력, 공간은 제외된다. 왜냐하면 그것들은 물질과 함께 관성운동을 하지 않기 때문이다. 이런 점에서 물질들 간의 상대운동은 절대공간을 기준으로 볼 때 절대운동에 대한 겉보기운동이라고 할 수 있다.

이에 대해 아인슈타인이 제안한 상대성원리는 관성계 간의 완전한 상대성을 주장함으로써 관성계에 물질, 에너지, 공간 나아가 시간이 포함되는 것으로 간주한다. 상대성원리는 관성계를 절대화하는 논리로서, 운동하는 물체가 형성한 관성계를 완전히 별개의 장(우주)을 형성한 것으로 이해하는 것이다. 그리고 운동하는 물체의 관성계(혹은 좌표계)와 나머지 전체 우주 사이에서 운동 상태를 구별할 수 있는 기준이 없다고 가정한다.

가설 4. 물질은 절대공간 상에서의 운동속력과 중력에 따라서 운동 및 중력 방향으로 길이가 수축된다.

물질이 절대공간상에서 운동하는 상황에서 물질은 운동하는 방향으로 길이가 수축된다. 그것은 에테르나 암흑물질의 존재와 무관하다. 이러한 길이 수축은 이미 피츠제럴드와 로렌츠에 의해 설명되었고 아인슈타인이 특수상대성이론에서 체계적으로 규명한 바 있다. 물질의 길이 수축 현상은 물질 혹은 물체의 길이가 수축하는 것이며 공간의 수축을 의미하지 않는다.

일반상대성 이론이 밝힌 중력에 의한 길이 수축 현상 역시도 공간의 수축이 아니라 물질의 수축을 의미한다. 등속운동 뿐 아니라 가속도 운동 그리고 중력도 물질을 운동방향으로 수축시킨다. 이러한 물질의 길이수축은 원자 수준에서 발생하는 것으로 생각되지만 소립자 상태에서도 일어나는지는 알 수 없다.

가설 5. 물질은 절대공간 상에서의 운동속력과 중력에 따라서 자체 진동이 느려지며, 그에 따라 시간지연이 발생한다.

시간은 물질에 내재된 자체적인 진동 및 진동과정을 의미한다. 물질의 진동수(양자역학의 $E=\hbar\omega$ 에서 진동수 ω)는 물질의 운동과 중력에 따라 달라진다. 진동주기는 절대공간에 대한 물질의 운동속력이 빠를수록 중력이 강할수록 느려진다.

물질의 진동은 절대공간에 대해 물질의 속력이 0이 되고 중력이 존재하지 않는 무중력의 진공 상태에서 가장 빠르다. 이렇듯 물질의 자체적인 진동이 가장 빠른 상태를 기본시간이라고 한다면 기본시간은 현상계(관성계 등)에서 경험되는 고유시간과 측정과정에서 동일하게 나타난다. 그것은 로렌츠변환이 작용한 결과로서, 실제로는 고유시간은 기본시간보다 느리게 진행된다.

물질의 진동과정으로서 기본시간이 모든 물질에 있어서 완전히 규칙적인지는 알 수 없으나, 근래에 30억년에 1초의 오차만 가지는 원자시계가 개발된 것으로 보아 물질의 기본 진동이 고도로 규칙적인 것만은 분명해 보인다.

이런 점에서 시간은 공간과 직접적인 연관성이 없다. 시간은 물질의 운동 및 중력 상태에 영향을 받으며, 보다 직접적으로는 물질의 진동에 의존한다. 물질의 운동 및 중력 상태에 따라 길이수축과 시간지연이 발생하는바 그것은 절대공간과 연관된 것이 아니다.

가설 6. 물질은 절대공간 상에서의 운동속력과 중력에 따라서 질량이 증가한다.

절대공간 상에서의 물질의 운동과 중력은 물질의 질량을 증가시킨다. 운동하는 물체에 있어서 질량 증가는 19세기 전자기학이 이미 밝힌 바이저니와 아인슈타인의 특수상대성이론이 정리한 중요한 성과이다. 그런데 19세기 전자기학에서는 운동의 기준이 불명확하였고 아인슈타인은 절대적 좌표계를 부정한 상대공간을 운동의 기준으로 제시하였다.

본 연구에서는 운동에 의한 물질의 질량증가가 절대공간에 대한 운동속도에 따르는 것으로 간

주한다. 그것은 시간지연이나 길이수축이 발생하는 원리와 동일하며, 현상계에서 보이는 겉보기운동(상대운동)이 아니라 절대공간에 대한 운동속도가 질량변화에 영향을 주는 요인변수이다.

가설 7. 절대공간 상에서의 운동 및 중력에 따른 물질의 길이수축, 시간지연 그리고 질량증가의 비율은 로렌츠 변환식과 일반상대성 이론의 방정식과 일치한다.

본 연구는 아인슈타인의 특수상대론이나 일반상대론의 방정식이나 예측들을 기본적으로 수용한다. 특수상대론에서 로렌츠변환식을 차용하고 있는바, 물질의 길이수축, 시간지연 그리고 질량증가의 비율은 로렌츠변환과 일치한다. 가속도 운동이나 중력 하에서는 일반상대성 이론의 방정식과 일치한다. 실제로 아인슈타인의 특수·일반상대성이론은 그간 수차에 걸쳐 검증되었으며 최근에는 초신성의 중력파를 검증함으로써 일반상대성 이론도 정설로서 지위를 더욱 굳혀가고 있다.

다만, 이 연구가 아인슈타인의 특수·일반상대성이론에 대해 제기하는 의문 및 비판은, 그것이 상대성원리를 필요로 하지 않으며 나아가 상대성 원리 혹은 상대공간이라는 가정이 상대성이론에 대해 모순적이라는 것이다. 더하여 상대성이론의 길이수축, 시간지연이 물질 자체에 나타나는 현상으로서, 공간은 물질의 운동이나 중력에 의해 변형되거나 반응하지 않으므로 시간지연과 무관하다. 즉, 시공간은 연속적이지 않다. 이 연구는 뉴턴이 주장하는 절대공간의 관점을 견지하며 길이수축, 시간지연 그리고 질량증가 현상을 절대공간 상에서의 물질의 운동이 가져오는 물질 자체의 변화로 파악한다. 그리고 이런 관점에서 상대성이론의 모든 원리와 현상이 설명될 수 있음을 주장한다.

3. 가설의 검증

3.1 상대성원리(상대공간)의 모순과 절대공간의 타당성

상대성원리는 현대물리학의 우주에 대한 인식의 토대를 구성하고 있을 뿐 아니라 현대 사회가 우주공간을 보는 기본 관점이 되었다. 오늘날 상대성원리 가정은 마치 공리처럼 받아들여지고 있지만 또한 적지 않은 의문점을 내포하고 있다고 할 것이다.

달리는 기차와 그 외부세계 중 어느 쪽이 실제로 운동하는지 구분할 수 없다는 아인슈타인의 주장은 기존 공간 개념을 완전히 뒤집어 놓았지만 무언가 경험적으로나 상식적으로 우리의 감각에 부합하지 않는다. 기차에 타고 있는 사람이 자신이 움직이는지 외부세계가 움직이는지 분간하기 어렵다고 해서 실제로 기차가 운동하는지 외부세계가 반대방향으로 이동하는지 판단할 아무런 기준도 없는 것일까? 기차 1대가 달려가는 것이 우주 전체가 반대 방향으로 운동하는 것과 동일하다고 할 수 있을까?

우리는 이 문제와 관련하여 먼저 아인슈타인의 동시성 실험을 변형한 2가지의 사고실험을 제시한다. 그리고 마이컬슨몰리실험과 관련된 3개의 사고실험을 분석한다. 그것은 광속에 가까운 속도로 달리는 기차나 우주선에 타고 있는 사람이 스스로 자신이 운동하는지 반대편의 외부 세계가 운동하는지를 확인하는 방법에 관한 것이다. 만약 기차나 우주선에 타고 있는 사람이 자신의 운동을 스스로 확인할 수 있다면 상대성 원리는 설득력을 잃을 것이다. 더하여 달리는 기차에서 본 외부 시계에 관한 사고 실험을 통해 쌍둥이 역설 문제를 검토한다.

사고실험 1-1 : 광속 기차의 시계 비교(1)

이 사고실험에 들어가기에 앞서, 이 실험의 원 모델인 아인슈타인의 동시성 실험을 살펴보자.

기차의 맨 앞과 뒤에 (좌우로 볼록한) 거울을 마주보게 부착하고 그 한 가운데에 전등을 설치하여 어느 시점에 불을 켜는 상황을 가정한다. 만약 기차가 정지해 있다면 전등을 켰을 때 전등 빛은 전후방의 양쪽 거울에 동시에 반사되어 동시에 돌아올 것이다. 그리고 그것은 기차 안이나 밖에서 바라보는 사람에게 동일하게 보일 것이다.

그렇다면 기차가 속력을 높여서 광속에 가까운 속력으로 달릴 때는 어떻게 될까? 이 경우 양방향으로 날아간 빛이 앞쪽 거울과 뒤쪽 거울에 반사되는 시간에 차이가 나게 된다. 뒤쪽 거울에 먼저 반사되고 앞쪽 거울에는 조금 늦게 반사되는 것이다. 이는 빛이 기차의 운동과 무관하게 c 의 속력으로 운동하기 때문인데, 외부에서 보는 사람은 그것을 알 수 있다. (이 연구는 이러한 현상이 나타나는 이유가 빛이 기차라는 물체에 대해 관성운동을 하지 않기 때문으로 해석한다. 만약 공이나 총알을 양방향으로 쏘았다면 그것들은 양쪽 거울에 동시에 부딪혔을 것이다.)

그런데 이 사실을 기차의 가운데에서 전등불을 켜 사람은 알 수 없다. 그는 빛이 거울에 반사되어 기차의 중앙으로 돌아온 후에야 확인할 수 있는바, 빛이 앞쪽 거울에 반사되어 돌아온 시간과 뒤쪽 거울에 반사되어 돌아오는 시간이 동일하기 때문이다. 즉, 빛이 앞쪽으로 날아간 거리와 반사되

어 되돌아온 거리를 합하면 뒤쪽으로 날아가서 되돌아온 거리와 일치한다. 따라서 기차 가운데 있는 사람은 빛이 동시에 돌아왔으며 양편 거울에도 동시에 반사되었을 걸로 생각할 것이다.

그런데 더욱 흥미로운 점은 달리는 기차에서 쏜 빛이 원점으로 돌아오는 시간은 기차 밖에서와 기차 안에서 달리 측정된다는 것이다. 기차 밖에서 보면 빛이 전후방으로 이동하는 거리가 정지한 기차에서 보다 길다. 빛의 속도가 일정하고 빛이 보다 먼 거리를 운동했다면 당연히 빛의 왕복시간도 길어질 것이다. 그런데 기차 밖에 있는 사람에게는 이 사실이 분명하게 관측되는 반면 기차 안에 있는 사람은 그것을 알 수 없다. 기차 안의 사람은 달리는 기차에서의 빛의 왕복시간이 기차가 정지되어 있을 때 빛의 왕복시간과 동일하게 측정되는 것이다. 이 문제를 풀기 위해 로렌츠는 달리는 기차에서는 기차의 길이가 수축되고 시간이 늦어진다고 제안했고 거기에 합당한 방정식(로렌츠 변환)을 내놓았다. 아인슈타인도 동일한 방정식으로 특수상대성이론을 제출하였다.

여기까지는 로렌츠나 아인슈타인 그리고 본 연구자가 모두 동의하는 부분이다. 그런데 아인슈타인은 이 상황에 상대성원리라는 가정을 도입하여 시공간 개념을 흔들어 놓는다. 기차라는 움직이는 관성계와 외부 관성계 사이를 구분할 특별한 기준이 없으며 서로 상대운동을 하고 있다는 것이다. 소위 상대성원리 혹은 상대공간 가정을 도입한 것이다.

이러한 가정 하에서는, 기차 밖에서 기차의 길이수축과 기차 내 시간지연 현상을 볼 수 있지만 기차에 탄 사람이 볼 때는 기차 외부 세계에서 길이수축이 발생하고 시계가 느리게 가게 된다. 이는 물질의 운동에 따른 시간지연, 길이수축, 질량증가과는 완전히 구별되는 문제라고 할 수 있다. 그것은 물질의 운동이 가져오는 시간지연, 길이수축 등의 효과를 그 자체에 그치지 않고 물질의 운동과 시공간을 연계시키는 또 다른 제안으로 확대되는 것이다. 이 연구는 전술한바, 로렌츠변환이나 특수·일반상대성이론의 방정식을 수용하지만 아인슈타인이 제안한 상대성원리라는 가정과 광속불변(빛의 상대속도 일정) 가정을 부정한다. 그런 점에서 시공간연속체라는 해석에도 동의하지 않는다.

그러면, 상대성원리를 반박하는 사고실험을 진행시켜보자. 아인슈타인의 동시성 실험과 거의 동일한 조건을 활용한 사고실험 방법이다. 기차 맨 앞과 뒤에 시계 A, B를 서로 마주보게 부착한다. 그리고 기차의 중앙에 전등(혹은 레이저 장치)을 설치한다. 기차가 정지해 있을 때 기차의 한 가운데 위치한 전등을 켜다. 전등 빛이 시계에 닿으면 시계가 작동하기 시작한다. 이제 기차를 출발시켜서 속도를 점점 더 높인다. 기차의 속력이 광속의 절반에 이르러 등속운동을 하고 있을 때 전등불을 꺼서 시계를 정지시킨다.

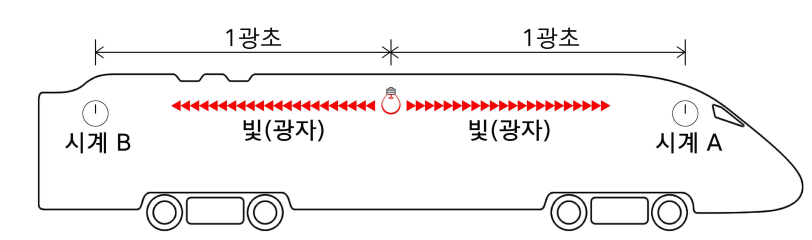
시계 A, B가 정지되면 이들을 한 곳으로 가져와서, 2개의 시계가 가리키는 시간이 일치하는지 비교해 본다. 아인슈타인의 동시성 실험에 의하면 두 시계의 시간은 각기 다를 것이다. 뒤쪽 시계(B)가 멈춘 시간이 더 빠르고 앞쪽 시계(A)는 나중에 멈추어 시간이 늦을 것이다.

이는 기차에 타고 있는 사람이 기차 외부 세계가 아니라 기차 자체가 운동한 것을 확인할 수 있는 간단한 방법이다. 기차가 운동하지 않고 외부세계가 반대로 이동했다면 기차 안의 시계들 간에 이러한 시간 차이가 일어날 수 없기 때문이다. 그리고 두 시계 간의 시간 차이를 보면 기차가 어느 방향으로 달리고 있는지 그리고 그 속력이 얼마인지를 알 수 있다. 만약 기차의 길이(시계 A, B 간 거리)가 2광초(light second)이고 두 시계가 1초의 차이를 보인다면, 이 기차는 시간이 늦은 시계

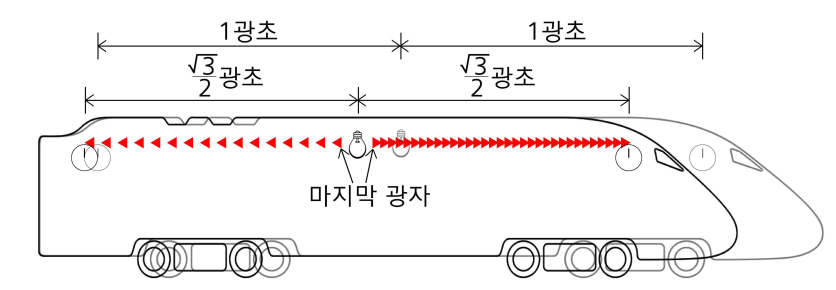
방향으로 광속의 1/2로 운동하고 있었다고 판단할 수 있다. 이는 마지막 전등 불빛이 앞 시계 A에 닿는데 걸리는 시간 $1.5\text{초}(1\text{광초} \times \sqrt{3}/2 \times 2 \times \sqrt{3}/2)$ 에서 뒤 시계 B에 닿는데 걸리는 시간 $0.5\text{초}(1\text{광초} \times \sqrt{3}/2 \times 2/3 \times \sqrt{3}/2)$ 를 뺀 값이다. (이와 관련된 구체적인 설명은 그림 1-1을 참조)

그림 1-1 광속 기차의 시계 비교(1)

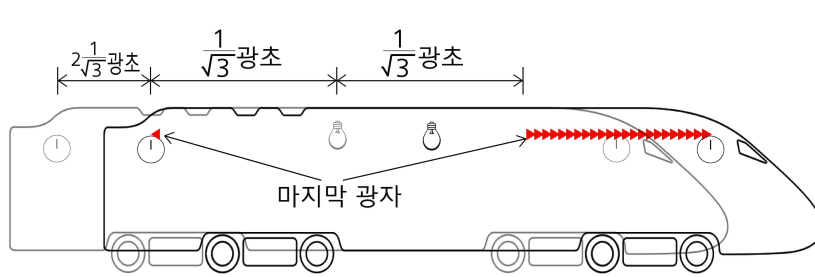
- a. 기차가 정지해 있을 때 전등을 켜 -> 광자가 시계에 닿으면 시계가 작동하기 시작함



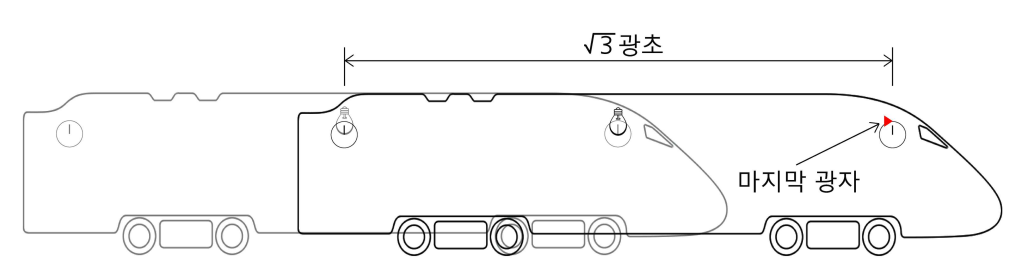
- b. 기차 속력이 광속의 1/2이 됨 -> 기차의 길이가 $\sqrt{3}/2$ 으로 수축됨 -> 전등의 불을 끄



- c. 전등의 마지막 광자가 시계 B에 닿음 -> 시계 B가 정지함



- d. 전등의 마지막 광자가 시계 A에 닿음 -> 시계 A가 정지함



- e. 정지한 시계 A와 시계 B를 한 곳에 모아서 시간을 비교함

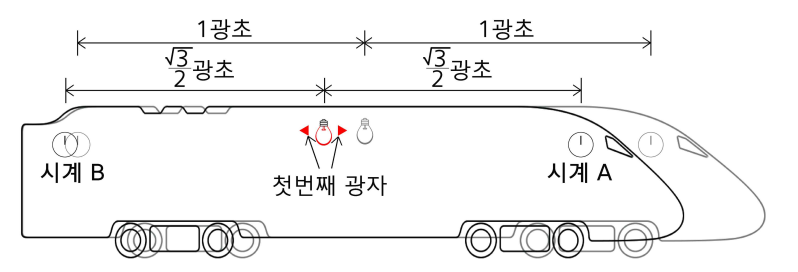
사고실험 1-2 : 광속 기차의 시계 비교(2)

사고실험 1-1과 비슷한 사고실험이다. 사고실험 1-1에서와 마찬가지로 기차의 중앙에 전등이 있고 기차의 앞뒤 편에 시계 A, B가 설치되어 있다.

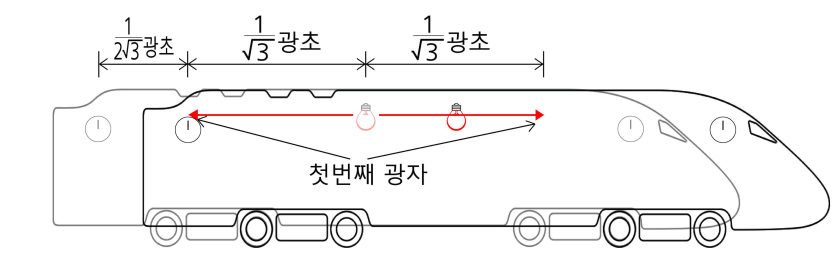
이번에는 기차가 출발하여 광속의 $1/2$ 로 등속 운동을 하고 있을 때 기차의 중앙에 설치된 전등 불을 켜다. 전등 불빛이 기차 앞뒤 편에 부착된 시계 A, B에 닿으면 광전효과에 의해 시계가 작동하기 시작한다. 두 시계가 작동하고 있다는 것을 확인한 후 기차를 정거장에 서서히 멈춘다. 그리고 두 시계를 가운데로 가져온다. (그림 1-2 참조)

그림 1-2 광속 기차의 시계 비교(2)

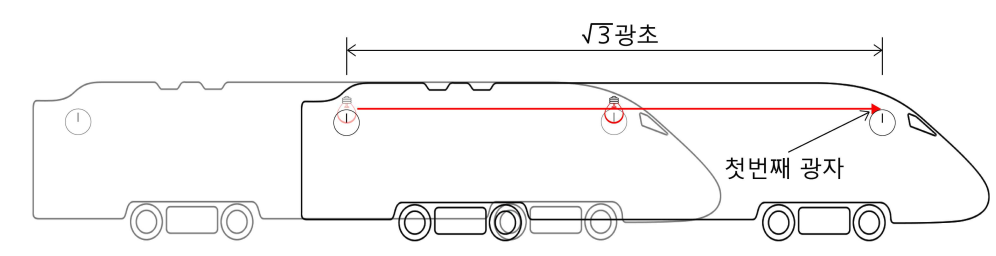
- a. 기차가 $1/2c$ 의 속력으로 달릴 때(기차의 길이 $\sqrt{3}/2$ 으로 수축), 중앙 전등의 불을 켜



- b. 전등의 첫 번째 광자가 시계 B에 닿음 -> 시계 B가 작동하기 시작함



- c. 전등의 첫 번째 광자가 시계 A에 닿음 -> 시계 A가 작동하기 시작함



- d. 다음 기차역에서 기차를 정지시킨 후 두 시계를 가운데로 가져와서 시간을 비교해봄

이제 두 시계를 비교해 보자. 어느 시계의 시간이 더 많이 흘러갔을까? 이번에도 기차의 뒤편에 있는 시계 B가 조금 더 지나갔을 것이다. 왜냐하면 빛은 기차의 운동과 무관하게 양 방향으로 동일한 속도(c)로 날아가기 때문이다. 아인슈타인의 동시성실험에 의하면 달리는 기차에서는 중앙전등의 빛이 기차 뒤편 시계 B에 먼저 닿는다(동시성실험의 구체적인 원리에 대해서는 사고실험 2-1 참조).

이는 기차에 타고 있는 사람이 자신이 탄 기차가 어느 방향으로 운동했는지 알 수 있는 또 하나의 간단한 (그러나 실제로 측정하기는 어려운) 방법이다. 아인슈타인의 상대성원리는 물체가 관성운동을 할 경우 자신의 관성계가 운동하는지, 외부 세계(반대편 관성계)가 반대방향으로 운동하는지 알 수 없다고 전제하지만, 이와 같이 확인가능한 방법이 실재하는 것이다.

이 경우에도 두 시계의 시간 차이를 보면 기차가 어느 방향으로 달리고 있는지 그리고 그 속력이 얼마인지 추정할 수 있다. 만약 두 시계간 거리가 2광초이고 두 시계의 시간이 1초 차이가 난다면, 전등을 켜 때 기차는 시간이 늦은 시계 방향으로 $0.5c$ 로 달리고 있었다고 할 것이다. 그것은 빛이 거울 A에 닿는데 걸리는 시간 1.5초에서 거울 B에 닿는데 걸리는 시간 0.5초를 뺀 값이다.

사고실험 1-3 : 광속 기차의 천정 거울에 레이저 쏘기

현대 물리학은 빛(전자기)이 광원의 운동과 관계없이 일정한 속도를 갖는다는 사실을 밝혀냈다. 예컨대 달리는 기차에서 전등 빛을 앞쪽으로 비추던지 혹은 뒤쪽으로 빛을 비추던지, 빛의 속도는 일정하다. 이에 대해 질량을 가진 물질은 관성력을 가지며 관성운동을 한다. 100km/h 의 속력으로 달리는 기차에서 전방으로 20km/h 로 공을 던지면 공의 속도가 120km/h 가 되지만, 후방으로 던지면 80km/h 가 된다. (물론 기차 외부에서 볼 때 그러하다.) 우리는 이 현상을 본 연구의 가설 2와 가설 3의 관점에서 설명할 수 있다고 본다. 즉, 빛은 물체의 운동에 대해 관성을 가지지 않지만 질량을 가진 물질은 관성을 갖는다는 것이다. 그 이유는 명확하지 않지만 아마도 빛이 질량을 가지지 않기 때문으로 사료된다.

그렇다면 이번에는 기차에서 공을 천정 방향으로 던져보자. 기차가 정지해 있을 때 공을 천정을 향해 수직으로 던지면 공은 천정에 부딪힌 후 제자리로 돌아올 것이다. 이는 기차 안에서 볼 때나 밖에서 볼 때 동일하다.

기차가 등속으로 달리고 있을 때 천정을 향해 공을 던지면 어떻게 될까. 기차가 멈춰 있을 때와 마찬가지로 (기차의 속력에 무관하게) 천정을 향해 수직으로 공을 던지면 된다. 수직으로 던져진 공은 수직 상부 천정에 부딪힌 후 제자리로 돌아온다. 물론 외부에서 보면 공은 기차 및 던진 사람과 함께 앞 쪽으로 운동하고 있어서 사선(혹은 포물선)을 그리며 상승했다가 낙하할 것이다. 이는 공이 기차와 함께 관성운동을 하기 때문이다.

이제 레이저 빛을 천정에 부착된 거울에 쏘아보자. 만약 기차가 멈춰 있다면, 기차 내 실험자는 기차의 수직 천정을 향해 레이저 빛을 쏘면 천정에 부착된 거울에 빛이 반사되어 원점으로 돌아올 것이다. 하지만 기차의 속력이 빨라져서 광속에 가깝게 되면, 천정에 부착된 거울에 빛을 반사시키는 것은 공을 던지는 것과 다르다. 천정의 거울에 빛이 도달하기 위해서는 수직 위 방향이 아니라

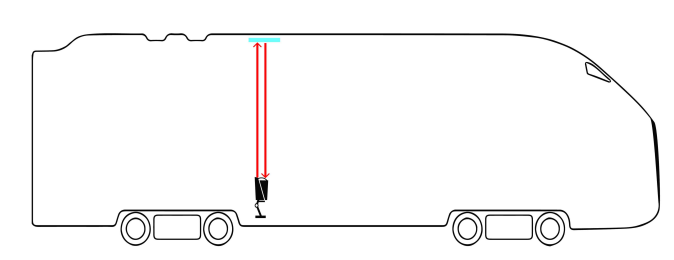
앞쪽 방향으로 비스듬히 레이저 빛을 쏘아야 한다. 이는 빛이 물체의 운동에 대해 관성을 가지지 않기 때문인데, 만약 빛을 수직 상부로 쏘다면 그림 1-3 b와 같이 천정의 거울을 맞추지 못하며 제자리로 돌아오지도 못한다. 기차 밖에서 이 빛을 보면 빛이 수직 상승과 하강을 한 것으로 보이겠지만 기차 안에서는 레이저 빛이 기차 뒤쪽으로 사선을 그리며 날아가는 것으로 보일 것이다.

따라서 광속의 $1/2$ 속력으로 달리는 기차에서는 지면에 대해 전방 60° 방향으로 레이저 빛을 쏘아야 수직 천정의 거울에 반사시킬 수 있으며, 기차의 속력이 빠르면 빠를수록 더 낮은 각도로 쏘아야 수직 천정에 있는 거울을 맞출 수 있고 빛이 다시 원점으로 돌아올 수 있다. (말하자면, 기차 안에 있는 사람은 전방 60° 로 빛을 쏘아야 빛이 수직 상승 하강 운동을 한 것으로 보게 된다.)

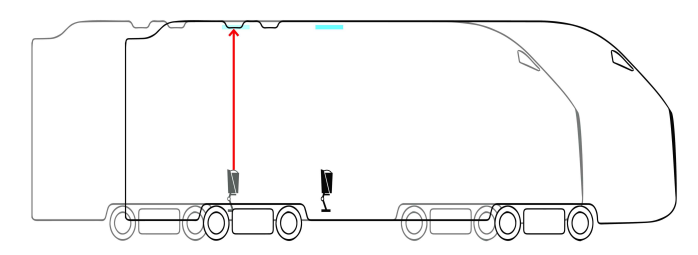
이는 광속에 가까운 속도로 운동하고 있는 사람이 외부세계가 아니라 자신의 우주선이 앞쪽으로 운동하고 있음을 확인할 수 있는 방법이다. 왜냐하면 기차 밖 외부세계에 있는 사람들에게는 그런 일이 일어날 수 없으며 또한 외부세계가 이동할 경우에는 기차 안에서 일어날 수 없는 현상이기 때문이다.

그림 1-3 광속 기차에서 천정 거울에 레이저 쏘기

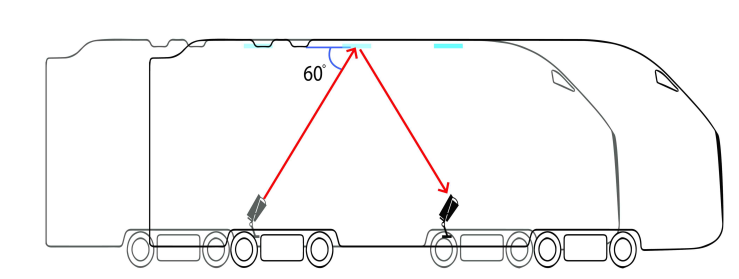
- a. 기차가 정지해 있을 때 빛을 수직으로 쏘면 천정 거울에 반사되어 원점으로 돌아옴



- b. 기차가 $0.5c$ 로 달릴 때(기차가 앞뒤로 수축됨) 빛을 수직으로 쏘면 천정 거울을 맞추지 못함



- c. 기차가 $0.5c$ 로 달릴 때 빛을 전방 60° 로 쏘면 천정 거울에 반사되어 원점으로 돌아옴



사고실험 1-4 : 우주선에서의 마이컬슨·몰리실험(1)

마이컬슨·몰리실험은 지구라는 우주선에 실린 마이컬슨·몰리간섭계를 활용한 실험이다. 이번 사고실험은 광속에 가까운 속력으로 날아가는 우주선에서의 마이컬슨·몰리 실험이다.

먼저, 광속에 가까운 속력을 낼 수 있는 우주선에 마이컬슨·몰리실험 장치를 실어보자. 마이컬슨·몰리실험 장치를 우주선의 전후방향과 상하방향으로, 한글의 L자 형태로 고정시킨다(그림 1-4 참조).

우주선이 정지해 있을 때 광원에서 빛을 쏘면 빛의 절반은 반투명 거울을 통과하여 직진한 후 전방 거울(B)에 반사되어 되돌아 올 것이고, 빛의 절반은 90°로 꺾여서 수직으로 날아갔다가 상부 거울(A)에 반사되어 반투명 거울로 돌아올 것이다. 이때 반투명 거울은 광원으로부터 빛이 진행되는 방향에 45°로 설치한다.

이제 우주선의 속력을 높인 후 같은 실험을 해보자. 앞의 사고실험에서와 같이 우주선의 속력이 빨라지면, 마이컬슨·몰리실험 장치의 상부 거울(A)에 빛을 반사시키기 위해서는 반투명 거울의 각도를 조정해야 한다. 광원을 떠나 반투명 거울에서 반사된 빛이 수직 위 방향이 아니라 앞쪽 방향으로 비스듬히 날아가야 마이컬슨·몰리 실험장치의 상부 거울에 닿을 수 있고 반투명 거울로 되돌아올 수 있는 것이다.

그렇다면 반투명 거울의 설치방향을 반사각에 맞추어야 할 것이다. 우주선이 정지해 있을 때는 45°로 설치했지만, 우주선의 속도에 따라 반투명 거울의 설치 각도를 조금씩 변화시켜야 하는 것이다. 우주선이 광속의 1/2로 달리는 경우에는 광원으로부터의 빛의 진행방향에 대해 30°로 반투명 거울을 조정해야 빛이 전방 60° 방향으로 꺾여서 상부 거울(A)에 반사될 수 있다.

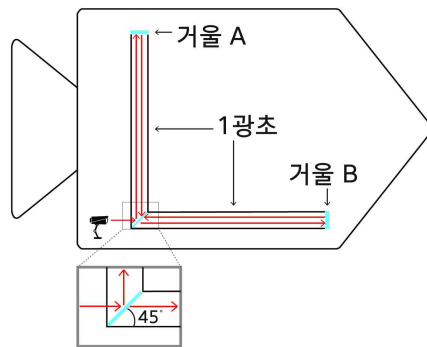
이제 광원에서 빛을 쏘면 빛의 일부는 반투명 거울을 통과한 후 직진하여 전방 거울(B)에 반사되어 되돌아 올 것이다. 그리고 나머지 빛은 반투명 거울에 반사되어 지면에 대해 전방 60° 방향으로 꺾여서 올라간 후 상부 거울(A)에 반사된다. 이 빛은 전방 -60° 방향으로 하강하여 반투명 거울과 다시 만날 것이다. (이때, 우주선 안에 있는 사람에게 거울 A에 반사된 빛은 상하로 수직 왕복한 것으로 보인다.)

이 사고실험은 아인슈타인이 제안한 동시성 실험과 마이컬슨·몰리실험을 혼합한 것인데, 여기서 놓치지 말아야 할 중요한 사실이 있다. 이러한 실험과정에서 우주선 안에 있는 사람이 자신의 운동 상태를 알 수 있다는 것이다. 우주선 안에서 빛의 경로가 수직 상승, 하강한 것으로 보일지라도 마이컬슨·몰리 실험장치 내 반투명 거울의 각도를 조정하는 과정에서 외부세계가 아니라 자신과 자신이 탄 우주선이 운동하고 있다는 사실을 확인할 수 있는 것이다. 더하여 반투명 거울의 반사 각도에 따라 우주선의 운동 속도도 추정할 수 있다(이 실험에 대한 보다 구체적인 분석은 사고실험 2-2 참고).

그림 1-4 우주선에서의 마이컬슨·몰리실험

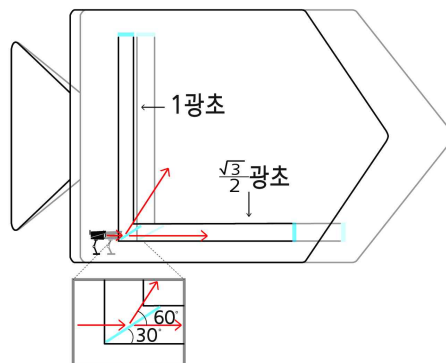
a. 우주선이 정지해 있을 때 (혹은 광속에 대해 아주 낮은 속도일 때) 마이컬슨 실험

-> 반투명 거울을 지면에 대해 45° 로 설치함



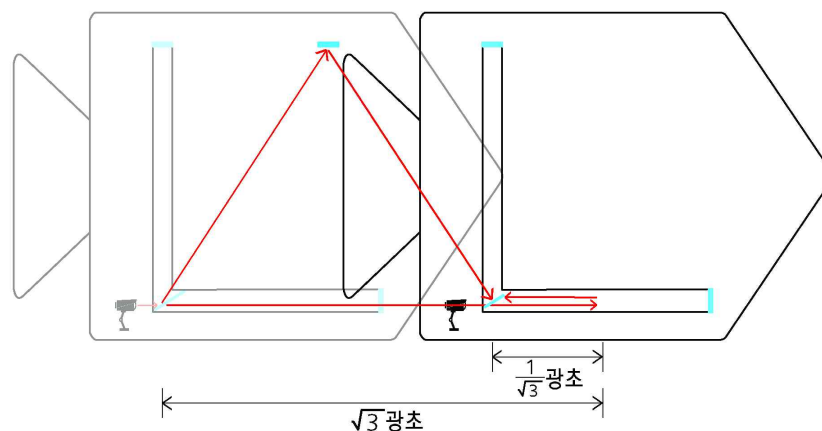
b. 우주선이 광속의 $1/2$ 로 날아갈 때(우주선의 길이 $\sqrt{3}/2$ 로 수축) 마이컬슨·몰리실험

-> 반투명 거울을 지면에 대해 30° 로 설치함



c. 빛이 직진 방향과 전방 60° 방향으로 날아가서 거울에 반사됨

-> 빛은 반투명 거울로 동시에 돌아오며 두 빛의 속력은 c 로 측정됨



사고실험 1-5 : 우주선의 삼각막대(삼각함수의 역설)

특수상대성 이론에 의하면 광속에 가까운 속도로 달리는 우주선은, 외부에서 보면 우주선이 앞뒤 방향으로 수축되어 보인다. 그러나 우주선 내부에 있는 사람은 그러한 사실을 알아차리지 못한다. 왜냐하면 우주선 내 모든 물체의 길이가 우주선의 진행 방향으로 수축되어 그것을 알 수 없기 때문이다. 말하자면 기준이 되는 좌표계 혹은 측정도구로서 자가 수축되어 있는 것이다.

외부에서 볼 때 우주선이 $0.8c$ 의 속력으로 날아가면 $100m$ 의 우주선의 길이가 $60m$ 로 수축되어 보이겠지만 우주선 내에서 측정해 보면 $100m$ 는 여전히 $100m$ 이다. 아인슈타인의 상대성원리에 의하면 우주선 내부에서 보면 오히려 우주선 외부의 물체들의 길이가 수축된 것으로 보인다.

그러면 날아가는 우주선 안에서 물체가 전후 방향으로 수축된 사실을 알 수 있는 방법이 전혀 없을까? 로렌츠변환식과 상대성이론은 그것들이 실제로 수축된다고 보기 때문에, 우주선 밖에서 볼 때와 같이 우주선 안에서도 수축되어 보여야 한다. 다만 우주선 내에서는 측정 도구가 수축하여 마치 수축이 안 된 것처럼 측정될 뿐이다.

이 문제와 관련하여 하나의 사고실험을 해보자. 우주선에 삼각막대(삼각기둥)가 실려 있다. 우주선이 정지해 있을 때 이 삼각막대는 양 옆면이 90° , 60° , 30° 의 내각을 가진 직각삼각형으로서 삼각형의 변 길이가 각각 $10cm$, $5cm$, $5\sqrt{3}cm$ 이다.

이 삼각막대를 그림 1-5 a와 같이 우주선이 날아가는 방향에 대해 직각으로 놓혀 놓는다. 이제 우주선이 이륙하여 속력을 높인다. 우주선과 함께 삼각막대도 미소하나마 앞뒤 방향으로 길이가 수축될 것이다. 우주선의 속력이 광속(c)의 $1/2$ 에 이르면 삼각막대의 밑변 길이는 $\sqrt{3}/2$ 배 줄어들어 $7.5cm$ 가 된다. 그러나 이 경우에도 우주선 내에서 측정하면 삼각막대의 전후 방향 길이는 여전히 $5\sqrt{3}cm$ 로서 동일하게 측정될 것이다. 우주선 내에서는 자를 포함한 모든 것이 수축되기 때문이다.

그렇다면 우주선 내에서 볼 때 이 삼각막대의 옆면은 여전히 90° , 60° , 30° 의 내각을 가진 직각삼각형으로 보일까? 그렇지 않을 것이다. 우주선 밖에서 볼 때와 같이 이 삼각막대는 전후방향으로 수축되어 보일 것이다. 이 삼각형의 내각들을 측정해보면 각각 90° , 56.3° , 33.7° 가 된다. 삼각형의 변의 길이는 그대로인데 각도만 달라진 것이다.

물론 우주선의 속력이 그다지 빠르지 않아서 길이 수축이 미미하다면 우주선 내에서 길이수축과 내각의 변화를 알아차리기 힘들다. 그런데 그 경우에는 우주선 외부에서도 우주선의 길이수축을 확인하기 어려울 것이다. 하지만 우주선의 속력이 빨라지면 길이수축과 내각의 변화는 가시적이 된다. 만약 우주선의 속력이 $0.6c$ 가 되면 삼각막대의 밑변 길이는 $4\sqrt{3}cm$ 로 줄어들고 (우주선 안에서 측정하면 여전히 $5\sqrt{3}cm$ 이다.) 내각은 각각 90° , 54.2° , 35.8° 가 된다. 그리고 우주선의 속력이 $0.8c$ 로 높아지면 삼각형의 밑변 길이는 $3\sqrt{3}cm$ 가 되고 내각은 각각 90° , 46.1° , 43.9° 가 되는 것이다.

이 역설적 상황은 우주선에 탄 사람이 자신의 우주선이 고속으로 날아가고 있음을 확인하는 방법이 된다. 우주선의 승객이 창밖을 내다보면서 자신이 운동하는지 외부 세계가 반대 방향으로 운동하는지 구별하기 쉽지 않겠지만 이 삼각막대 옆면의 각도를 측정해 보면 자신이 고속으로 이동하고 있음을 알 수 있는 것이다. 좀 더 과학적 지식 있다면 자신의 운동 사실을 알 수 있는 정도가 아니

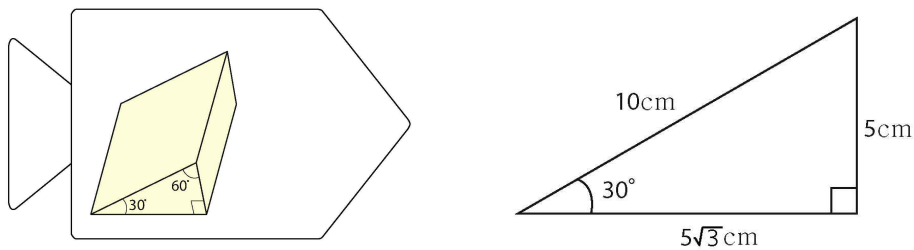
라 자신의 우주선이 날아가는 속도까지 추정할 수 있다.

이 사고실험 결과가 옳다면 우주공간 상의 모든 운동은 상대운동이며 절대좌표계가 존재하지 않는다는 상대성 원리는 부정된다. 우주선에 탄 사람이 자신이 운동하고 있음을 알 수 있고 그 속력까지 알 수 있다면 상대성 원리는 설 자리가 없다.

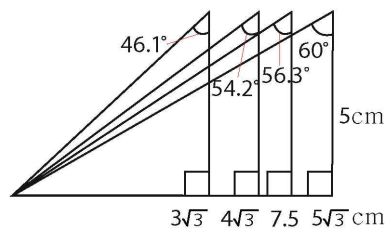
그렇다면 이 우주선은 무엇에 대해 이러한 속력을 가지며 삼각막대가 수축하는 것일까? 외부 세계의 모든 물질들의 운동과 관계없이 우주선이 운동속력을 가지며 그 운동속력에 따라 길이수축, 시간지연, 질량증가가 발생한다면 우주선의 속력은 절대공간에 대한 것일 수밖에 없다. 결국 우주공간 상의 모든 물체들은 절대공간에 대해 절대 운동을 하고 있으며 절대운동의 방향으로 길이수축이 일어난다는 것이다. 삼각막대의 길이수축은 절대공간에 대한 우주선과 삼각막대의 운동속력에 따라 나타나는 것이다.

그림 1-5. 우주선에서의 삼각막대 형태 변화

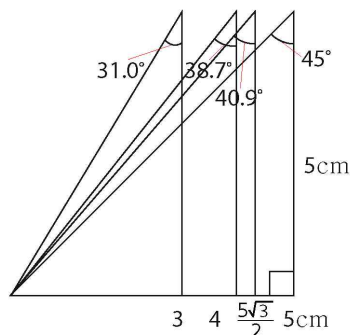
- a. 삼각기둥을 눕혀서 우주선의 진행방향에 대해 가로방향으로 설치함



- b. 우주선의 속력 증가(0c, 0.5c, 0.6c, 0.8c)에 따른 직각삼각형의 형태 변화



- c. 우주선의 속력 증가(0c, 0.5c, 0.6c, 0.8c)에 따른 직각이등변삼각형의 형태 변화



사고실험 1-6 : 달리는 기차에서 본 외부 시계

그림 1-6과 같이 기차가 A역을 출발하여 B역을 향해 달려간다고 해보자. A역과 B역 사이 거리는 1광초(light second)이며 선로는 직선이다. A역과 B역에 각각 시계 A, B를 마주보게 배치하고 양역의 가운데 지점에 전등(혹은 레이저)을 설치한다. 그리고 양역의 가운데 지점에서 선로에 수직선을 그어 양 역간 거리의 3,600배(즉 3,600광초 거리) 지점에 시계 C를 설치한다.

이제 전등이 켜지면 이 전등 불빛을 받는 순간부터 세 시계가 작동을 시작한다. 전등 빛이 켜지고 0.5초 후에 양쪽 역의 시계 A, B가 작동을 시작하고 1시간 후에는 시계 C가 움직이기 시작할 것이다. A역에서 보면 시계 B는 시계 A보다 1초 늦은 것으로 보이는데 왜냐하면 시계 B의 빛이 A역에 도달하는데 1초가 소요되기 때문이다. 또, 시계 C는 약 1시간 59분 59.500035초(이하 약 생략) 늦은 것으로 보이는데, 시계 C의 경우 전등 빛이 시계 C에 도달하는데 1시간이 걸리고 시계 C의 빛이 A역에 도달하는데 1시간 0.000035초가 소요되며, 여기에서 전등 빛이 시계 A에 도달하는 시간(0.5초)를 빼주어야 하기 때문이다. 하지만 어디에서 보나 이 시계들의 진행속도는 모두 동일하다.

모든 시계가 작동한 것을 확인한 후 시계 A가 2시를 가리킬 때 기차를 출발시켜 보자. A역에서 볼 때 시계 B는 1시 59분 59초를 가리키며 시계 C는 0시 0분 0.499965초를 가리킬 것이다. 기차가 출발할 때 기차 안에서 본 3개 시계의 시간은 A역에 있는 사람이 본 시간과 당연히 같다.

이제, 기차가 A역에서 B역으로 등속(예컨대 광속의 $1/2$)으로 달려간다. (기차가 가속운동을 하더라도 달라질 것은 없지만 설명의 편의를 위해 일단 등속운동을 하는 것으로 가정한다.) 특수상대성 이론에 의하면 기차 외부에서 기차를 보면 기차의 길이가 $\sqrt{3/2}$ 만큼 수축하고 기차내 시계의 진행속도도 $\sqrt{3/2}$ 만큼 느리게 가는 것으로 보인다. 기차가 종착역에 닿은 후 기차에 탄 사람이 자신의 시계를 보면 2초가 아니라 $\sqrt{3}$ 초가 흘러갔을 것이다.

이때 기차 안에서 외부의 시계들(A, B, C)을 보면 어떻게 보일까? 상대성 원리에 따르면 기차가 달리고 있을 때 기차 안에서 밖을 보면 기차 바깥의 시계 A, B, C가 느려진 것으로 보인다고 한다. 과연 그럴 것인가?

기차가 빛의 $1/2$ 속력으로 달릴 때 기차 안에서 기차역의 시계 A를 보면 시계 A가 기차 내 시계보다 느리게 가는 것으로 보일 것이다. 이 기차가 시계 A로부터 광속의 $1/2$ 로 멀어지고 있어서 시계 A의 빛이 기차에 닿는 시간이 점점 늦어지기 때문이다. 이 기차가 B역에 도착하여 출발역 시계 A를 보면 2시 0분 1초를 가리킬 것이다. 즉 1초만 흐른 것으로 보인다.

하지만 달리는 기차에서 시계 B를 보면 시계 B는 기차 내 시계보다 빨리 가는 것으로 보인다. A역에서 기차가 출발할 때 시계 B는 1시 59분 59초를 가리키고 있었는데 B역에 도착해서 시계 B를 보면 2시 2초가 되어 있을 것이다. 출발역에서 시계 A를 볼 때부터 3초가 지난 것이다.

이 기차의 승객은 다소 어리둥절하겠지만 상대성이론에 대해 지식을 가지고 있다면 모든 상황을 알아차리게 될 것이다. 자신이 1광초의 거리를 광속의 $1/2$ 속력으로 달려왔으며, A, B 두 시계의 시간경과를 평균하면 2초가 되는 것이다. 2초의 시간은 기차가 실제로 달려간 시간과 동일한 것이며, 이를 통해 우리는 기차 밖에서는 시간 지연효과가 나타나지 않았음을 알 수 있다.

그러면 기차 승객에게 시계 C는 어떻게 보일까. 우선 기차 밖에서 시계를 볼 경우를 생각해 보자. 시계 C는 A역과 B역으로부터 동일한 거리에 위치함으로 A역에서 보든지 B역에서 보든지 시간이 일치한다. 그리고 시계의 시간 흐름도 어느 시계와 다를 바 없이 동일하게 관측된다.

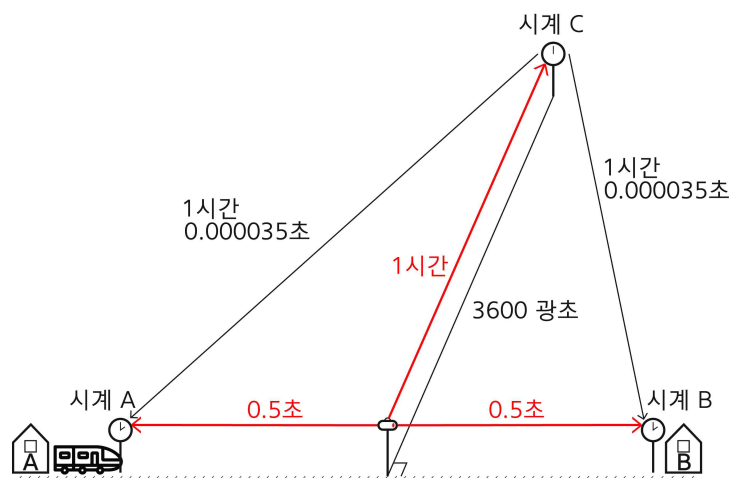
그런데 이 점은 기차 안에서도 다르지 않다. 기차가 A역을 출발할 때 시계 C를 보면 0시 0분 0.499965초를 가리킬 것이다. 이제 B역에 도착하면서 시계 C를 보면 0시 0분 2.499965초가 된다. 기차가 A역에서 B역에 도착하기까지 시계 C는 총 2초가 경과한 것이다.

결국, 기차 안에서 볼 때 기차 밖의 시계 C는 느려지지 않는다. 기차 내 시계가 총 $\sqrt{3}$ 초가 걸린다면 기차 밖의 시간은 기차 안보다 빠르게 흐르는 것이다. (물론 기차가 A, B 역의 가운데 지점에 이를 때까지 시계 C가 극히 미세하나마 조금 더 빨리 가다가 이후에는 조금 느려질 것이다. 그러나 이는 거의 무시할 정도이며 결국 상쇄되어 버린다.) 종합해보면, 달리는 기차 안에서 본 외부의 시계 A, B, C의 평균적 시간 경과는 2초이며 기차 밖의 시계가 느려지는 일은 일어나지 않는다.

이 사고실험 결과는 상대성 원리에 대한 직접적인 비판이자 반증이 된다. 시간지연은 운동하는 물체에서만 일어나며, 운동하는 물체의 외부 세계 전체가 반대편으로 운동하거나 그로 인해 시간지연 효과가 발생하지 않는 것이다. 결국, 기차가 달려간다고 하더라도 기차 밖 외부의 시계들이 느려지는 일은 없다. 지구상에는 수많은 기차가 있고 다른 교통수단들과 움직이는 물체들이 존재하는데 그 모든 것들에 대응하여 지구상의 시계들이 늦어지거나 빨라질 수는 없는 일이다. 그렇다면, 이 가정에 기초한 상대성 원리, 상대공간 개념은 당연히 부정된다.

이 사고실험 결과는 또한 상대성 원리와 관련하여 논란이 되었던 쌍둥이 역설을 간명하게 해명한다. 우주선을 타고 지구를 떠난 쌍둥이 형과 지구에 남은 동생에 있어서 시간지연은 광속에 가까운 운동을 하고 있는 형에게만 일어나고 동생에게는 발생하지 않는 것이다. 그것은 우주선의 출발이나 회전, 도착과정에서의 가속, 감속 등 가속도 운동과도 무관하게 일어난다. 등속운동에서도 시간지연은 절대공간에 대한 운동속력에 따라 작용하는 것이다.

그림 1-6 달리는 기차에서 본 외부 시계



사고실험 1-7 : 마주 보고 달리는 기차에서의 속력 측정

사고실험 1-6에서는 기차 1대가 달려가면서 기차역의 시계들과 먼 거리에 설치된 시계를 관측하는 경우를 가정하였다. 이번에는 기차 1대가 아니라 마주보고 달리는 기차가 1대 더 있는 경우를 생각해 보자. 여기서 기차 1은 사고실험 1-6과 같이 기차역 A에서 기차역 B를 향해, 그리고 기차 2는 기차역 B에서 기차역 A를 향해 달린다.

시계 A가 2시를 가리킬 때 기차 1이 기차역 A를 출발하여(혹은 통과하여) $0.5c$ 의 속력으로 기차역 B를 향해 달리기 시작한다. 그리고 기차역 B에서는 시계 B가 2시를 가리킬 때 기차 2가 $0.6c$ 의 속력으로 기차역 A를 향해 달리기 시작한다.(이 경우 기차의 가속 문제가 있을 수 있지만, 일단 무시하기로 한다. 만약 이 문제가 조금이라도 걸린다면 기차 1, 2가 $0.5c$ 와 $0.6c$ 의 속력으로 기차역 A와 기차역 B를 통과한다고 가정한다.)

달리는 기차에서 외부 시계 A, B, C를 관측한다면 기차 1의 경우 사고실험 1-6과 동일한 결과가 될 것이다. 또한 기차 2도 별반 다르지 않을 것인데, 2시에 기차역 B를 출발한 (혹은 통과한) 기차 2는 $5/3$ 초 후에 기차역 A에 닿게 된다. 이때 기차 안에서 보면, 시계 B는 $2/3$ 초가 지나간 것으로(출발할 때 2시, 도착할 때 2시 $0.666\cdots$ 초) 보이며 시계 A는 $8/3$ 초가 흘러간 것으로(출발할 때 1시 59분 59초, 도착할 때 2시 $1.666\cdots$ 초) 보일 것이다. 그리고 먼 거리의 시계 C는 $5/3$ 초(출발할 때 0시 0분 0.499965 초, 도착할 때 0시 0분 2.166632 초)가 지나갔을 것이다. 또한 기차 내 시계는 시간지연 효과로 인해 $4/3$ 초가 경과한 것으로 측정된다.

이 사고실험에서 재차 확인할 수 있는 것은 광속에 가까운 속도로 달리더라도 기차 안에서 볼 때 외부시계가 느려지지 않는다는 사실이다. 달리는 기차 안의 시계만 느려질 뿐이다. 그것은 기차가 달려갈 때 외부시계가 느려지고 외부공간이 수축되어 보이리라고 전제하는 상대성 원리와 상충하는 것이다.

그러면 이제, 두 기차간의 상대속도를 계산해보자. 정지 상태에서 두 기차의 길이가 모두 0.01 광초라고 가정할 때, $0.5c$ 로 달리는 기차 1의 길이는 $\sqrt{3}/200$ 광초가 되고 $0.6c$ 속력을 가진 기차 2의 길이는 $1/125$ 광초로 수축될 것이다. 즉, 기차 외부에서 볼 때 두 기차의 총 길이는 $(5\sqrt{3}+8)/1000$ 광초이다. 이 실험에서 두 기차의 앞부분은 $10/11$ 초 후에 서로 만날 것이며 후미 부분은 이후 $(5\sqrt{3}+8)/1100$ 초 후에 교차한다. 그러므로 두 기차가 교행하는 동안 두 기차 사이의 상대속도는 c 를 넘어서 $1.1c$ 에 이른다. 이는 우주공간에서 물질의 속도가 $1c$ 를 넘어설 수 없음을 밝힌 특수 상대성이론에 위배되는 것으로, 결과적으로 상대공간, 상대운동만을 상정하는 상대성원리가 상대성이론에 배치된다고 할 수 있다.

이번에는 기차의 안에서 관측되는 두 기차간의 상대속도를 구해보자. 먼저, 기차 1에 탄 승객의 입장에서 기차 2의 상대속도를 산출해보자. 기차 1의 앞부분에 자리를 잡고 옆 유리창을 통해 기차 2가 지나가는 모습을 관측한다. 기차 2의 앞부분이 유리창에 나타난 시각이 약 2시 0.9091 초인데 기차 2의 후미를 보게 되는 시간은 약 2시 0.9154 초가 될 것이다. 그렇다면 기차 2의 상대속도를 구할 수 있는데 기차의 길이(0.01 광초)를 기차 B의 통과시간(약 0.0063 초)으로 나누면 약 $1.59c$ 가 될 것이다. (만약 기차 2의 길이를 0.01 광초가 아닌 기차 속력에 따른 길이수축 효과를 고려하여

0.008광초로 계산한다면 약 $1.27c$ 가 된다.)

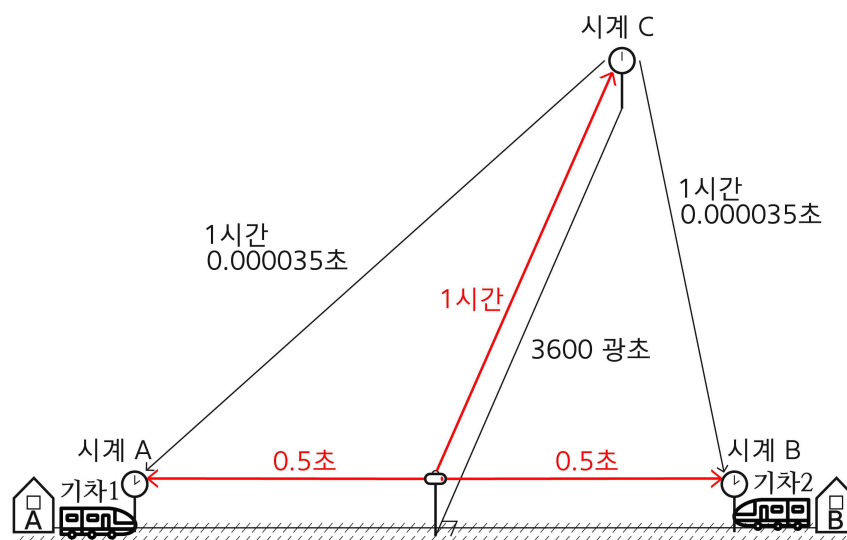
이는 반대로 기차 2에서 기차 1을 관측하더라도 다르지 않다. 기차 1의 앞부분이 기차 2의 특정 유리창을 지나가고 나서 기차 1의 후미가 같은 곳을 통과하는 시간은 약 0.0063초 후이다. 그리고 이 때 기차 1의 상대속도는 약 $1.59c$ 가 될 것이다. (만약 기차 1의 길이를 0.01광초가 아닌 기차 속력에 따른 길이수축 효과를 고려하여 $\sqrt{3}/200$ 광초로 계산한다면 약 $1.38c$ 가 된다.)

결국 우리는 이 사고실험을 통해 물체의 상대속도가 $1c$ 를 넘어설 수 있음을 확인할 수 있다. 이는 ‘빛과 물질이 광속을 넘을 수 없다’는 법칙이 상대공간에 대한 상대운동에 적용될 수 없으며 절대공간에 대한 절대운동에 해당함을 시사한다. 또한 운동속력에 따라 길이수축, 시간지연, 질량증가가 나타나는 것도 절대공간에 대한 절대속력에 대응하여 나타나는 현상이라고 할 것이다. 그리고 상대운동이란 뉴턴이 밝혔듯이 절대공간 상에서 물질들 간의 운동에 있어서 상호 관계를 의미한다고 할 수 있다. 태양이 매일 지구를 도는 것처럼 보이지만 실제로는 지구가 자전하는 것과 같이 상대운동도 겉보기운동에 불과한 것이다.

이 점에서, 우주공간이 기본적으로 절대공간과 물질 및 에너지로 구성되어 있다고 간주하고 모든 운동의 기준을 절대공간에 대한 절대운동에 둔 본 연구의 가설은 이 실험 결과와 상합한다. 또, 어떤 물체가 빛의 속력(c) 이상으로 운동할 수 없다는 것도 절대공간에 대한 절대운동에 한정하면 이 실험결과에 모순되지 않는다. 빛이 그러한 것처럼 모든 물질은 절대공간에 대해 $1c$ 이상의 속력으로 운동할 수 없지만 상대속도는 이 사고실험에서와 같이 c 를 넘어설 수 있는 것이다.

다만, 빛의 상대속도가 항상 c 로 측정되는 것은 기본적으로 빛의 물질에 대한 비관성운동 특성과 함께 빛의 속도를 측정하는 과정에서 빛의 왕복운동을 측정했기 때문이다. 그리고 빛의 상대속도를 측정하는 물체에 길이수축과 시간지연 효과가 일어나기 때문이다. 만약, 빛의 일 방향 속도를 측정할 수 있다면 빛은 빛을 향해 운동하는 물체에 대해 $1c$ 이상의 상대속도를 가질 것이다.

그림 1-7 마주 보고 달리는 기차에서의 속력 측정



사고실험 1-8 : 질량증가의 상대성 문제

아인슈타인의 상대성 원리의 타당성을 판별하는 또 다른 방법은 로렌츠변환과 특수상대성 이론이 제시하는 효과들이 운동하는 물체에 있어서 실제로 발생하는지를 살펴보는 것이다. 로렌츠와 아인슈타인의 이론에 의하면 운동하는 물체나 관성계에는 길이수축과 시간지연, 그리고 질량증가가 일어난다.

그런데 이런 현상이 운동하는 물체에 실제로 나타난다면 상대성 원리는 설 자리를 잃게 된다. 반대로 운동하는 물체의 길이수축과 시간지연, 질량증가가 상대 좌표계 혹은 외부에서 볼 때 나타나는 겉보기 현상에 불과하다면 양 좌표계 사이에 상대성 원리가 작용한다고 할 수 있을 것이다.

그 이유는 우주공간 상에서 운동하는 물체(혹은 좌표계)에 길이수축, 시간지연, 질량증가가 실제로 발생한다면 그것은 결코 상대편 좌표계에서 동시에 일어날 수 없기 때문이다. 예컨대 달리는 기차의 길이가 실제로 수축되고 질량이 증가하는 것이 사실이라면 기차를 제외한 전 우주의 길이수축과 질량의 증가가 동시에 일어나는 일은 있을 수 없다. 만약 달리는 기차에 대해 나머지 전체 우주가 실제로 길이수축, 시간지연, 질량증가를 보인다면 달리는 기차 뿐 아니라 날아가는 우주선, 소행성들, 수많은 먼지들에 대해서도 우주는 각각 질량증가, 시간지연과 길이수축을 나타내야 한다. 당연히 그것은 불가능한 일이다. 그렇다면 운동하는 물체에 있어서 질량증가, 길이수축, 시간지연은 실제 현상인가 겉보기 효과에 불과한 것일까?

이와 관련하여 가장 간단한 사고실험은 운동하는 물체에 있어서 질량증가 문제일 것이다. 현대 물리학은 운동하는 물체에 있어서 질량증가가 실제 현상임을 밝히고 있다. 이는 특수상대성 이론이 이론적으로 정립하였을 뿐 아니라 수많은 실험과 관측 결과들이 확인해준다. 말하자면 운동하는 물체의 속도가 빨라짐에 따라 그 물체의 질량이 실제로 증가한다는 것이다.

그에 반해 어떤 물체의 속력이 높아지는 것이, 이 물체를 제외한 우주 전체의 질량을 높이는 현상은 전혀 보고되거나 입증된바 없다. 사실, 고려조차 되지 않는다.

이런 점에서 어떤 물체가 특정 방향으로 운동하는 것과 나머지 우주 전체가 반대 방향으로 운동하는 것은 동등한 현상이라고 할 수 없다. 즉, 특수상대성 이론이 상대성 원리와 상합하지 않는 것이다.

사고실험 1-9 : 쌍둥이 역설의 모순

쌍둥이 역설은 쌍둥이 형이 지구를 떠나 우주여행을 다녀오는 사고실험이다. 이 역설의 핵심 문제는 광속에 가까운 속도의 우주선을 타고 지구를 떠난 형과 지구에 남은 동생 중 누구의 시간이 빨리 진행되느냐 하는 것이다.

대부분의 학자들은 쌍둥이 역설을 설명하면서 우주선이 등속운동을 하고 있을 때는 어느 시계가 빠리 같지 알 수 없으며 우주선의 방향 전환 등 가속도 운동이 우주선에 탄 형의 시간을 느리게 만든다고 말한다. 그것은 일반상대성이론이 제시하는 바이고 타당한 설명으로 보인다.

그러나 그렇다고 하더라도 우주선이 등속운동을 하고 있는 동안에는 어떻게 되느냐 하는 문제는 여전히 남게 된다. 이 문제에 대해 학자들은 등속운동에서는 두 좌표계 사이에 기준이 없기 때문에 누구의 시간이 느려질지 알 수 없다고 설명한다. 그리고 가속도 운동만으로도 형의 시간지연이 설명될 수 있다고 말한다.

만약 이 논리가 맞다면 형이 탄 우주선이 지구에서 달을 다녀오건 지구에서 수십 광년 거리의 여타 행성을 다녀오건 등속운동을 한 거리에 상관없이 (가속도 운동만으로 형의 시간지연이 모두 설명될 수 있으므로) 시간지연 효과가 동일해야 할 것이다. 결국 아무리 먼 거리를 광속에 준하는 속도로 운동 하더라도 등속운동을 하는 동안에는 시간지연이나 길이수축, 질량증가가 전혀 발생하지 않는다는 말이다.

그런데 등속운동에서 시간지연, 길이수축, 질량증가 효과가 발생하지 않고 가속운동에서만 시간지연이 일어난다고 한다면 이는 특수상대성 이론에 모순된다. 특수상대성 이론은 명백히 등속운동에서도 시간지연, 길이수축, 질량증가 효과가 일어난다고 지적하고 있다.

쌍둥이 역설 문제에 대해 일부 전문가들은 우주선이 등속운동을 할 경우에도 결국 형의 시간이 느리게 갈 것이라고 말한다. 형의 우주선이 날아가는 것이나 형의 우주선이 멈추어 있고 우주 전체가 반대편으로 운동하는 것이나 동일한 효과가 나타난다는 것이다. 형의 우주선에서 시간이 느리게 가는 것과 우주선 밖의 우주 전체의 길이가 수축하는 것이 동등하기 때문이다. 어느 경우이거나 우주선에 탄 형의 시계가 느리게 진행되며 그런 점에서 상대성 원리에 모순이 발생하지 않는다는 설명이다.

그러나 형의 우주선이 정지해 있고 우주 전체가 반대편으로 운동한다면 우주 전체에 길이수축 뿐 아니라 시간지연 효과가 일어나야 한다. 이 경우, 우주 전체의 길이수축이 형이 탄 우주선의 운동시간을 단축시킬 수 있지만, 한편으로 우주 전체의 시간지연은 동생의 시간을 빨리 가게 할 것이다. 결국 우주 전체의 시간지연 효과는 형이 탄 우주선의 거리 단축 효과와 상쇄되고 만다. 즉, 우주선이 날아가는 것과 우주 전체가 반대로 운동하는 것은 동등하지 않은 것이다. (이 문제는 뮤온의 입자붕괴 문제에 대해서도 동일하게 적용된다. 뮤온의 시간지연을 외부공간의 수축과 동등한 것으로 간주하는 전문가들이 적지 않은데 외부공간의 시간지연을 고려하면 동등하게 볼 수 없다. 실제 실험 및 관측 1-2 참조)

쌍둥이 역설은 기본적으로 상대성 원리에 대한 문제 제기였다. 이 난문이 제기되었을 때 특수상대성이론만으로는 해명이 불가능했다. 그런데 가속도 운동을 동반하는 일반상대성이론이 제출됨으로써 쌍둥이 역설은 사실상 해명된 것처럼 알려져 있다. 그러나 쌍둥이역설은 여전히 의문을 남기며 상대성 원리의 모순을 드러낸다.

사고실험 1-10 : 가속도 운동에서의 관성력 문제

우주선이 태양계 밖으로 나가서 거의 아무런 중력도 작용하지 않는 무중력 진공 상태의 공간을 날아가고 있다고 가정해 보자. 이 상황에서도 우주선이 가속을 한다면 우주선 내 모든 물체는 뒤쪽으로 밀리는 힘, 즉 관성력을 받는다. 더구나 우주선이 진행방향을 바꾸고 속력도 변화시킨다면 우주선 내 물체(물질)들은 전후좌우로 흔들리면서 크고 작은 관성력을 받을 것이다. 우주선 내 관찰자는 이를 통해 자신이 타고 있는 우주선의 운동을 확인할 수 있다. 만약 우주선 밖이라면 우주선이 어떤 가속 운동을 하더라도 결코 이런 힘(관성력)을 받지 않을 것이기 때문이다.

그렇다면 우주선은 무엇에 대해 가속운동을 한 것일까? 이 관성력은 무엇에 대한 운동으로부터 나오는 것일까? 우주선이 절대공간을 날아가고 있다면 우주선이 절대공간에 대해 운동함으로써 발생한 관성력으로 설명될 수 있다. 하지만 만약 상대공간을 가정한다면 우주선이 가속한 것인지 나머지 전체 우주가 반대편으로 가속한 것인지 단정할 수 없다. 즉, 우주선이 무엇에 대해 운동하며 나아가 가속이나 감속을 하는지 설명이 불가능하다. 가속도 운동에서 나타나는 관성력의 작용은 상대공간 개념에 부합하지 않으며 절대공간의 존재를 확인시켜준다. (가속도 운동에서 절대공간의 존재가 확인된다면 물체가 등속도 운동을 할 때도 절대공간은 사라지지 않을 것이다.)

여기서 상대성 원리와 상대공간에 대한 중대한 의문이 제기된다. 상대성원리가 작용하는 상대공간이라면 가속도 운동에 대해서도 상대성 원리가 작용하여야 할 것이다. 일반상대성이론이 일반적인 것은 가속도 운동에 적용되기 때문이고 가속도운동이야말로 일반적인 운동이다. 상대성 원리가 가속도 운동에 적용될 수 없다면 상대성 원리(상대공간)는 사실상 부정되는 것이나 다름없다.

이번에는 우주선이 등속운동과 가속도 운동을 반복하는 경우를 생각해보자. 전술한바, 가속도 운동을 하는 상황에서는 우주선 내부에서 우주선이 운동을 한다는 사실을 알 수 있다. 우주선이 다시 등속운동을 하면 우주선과 외부세계 중 어느 것이 운동하는지 다시 구별할 수 없게 될까? 그렇다면 또 다시 우주선이 가속도 운동을 시작하면 어떻게 될까? 우주선이 가속도 운동과 등속운동을 반복한다고 할 때 우주선에 탄 사람은 절대운동과 상대운동을 반복하는 것일까?

우주선의 운동이 절대운동과 상대운동을 반복한다는 것은 궁극적으로 절대공간을 상대공간으로, 다시 상대공간을 절대공간으로 바꾼다는 것을 의미한다. (절대운동은 절대공간에서만 가능하다.) 우주공간이 상대공간과 절대공간으로 부단히 바뀐다는 것 자체가 있을 수 없지만, 우주선이 잠시라도 절대운동을 하였다면 그것은 절대공간의 존재를 증명하는 것이다. 사실, 어떤 우주선이나 물체도 우주공간 상에서 완전한 등속운동을 할 수 없으며 모든 물질들은 가속도 운동을 하고 있다. 우주공간에는 어디에서든 미세하게라도 여러 천체로부터 중력이 미치기 때문이다. 우주선에 탄 사람이 절대운동과 상대운동이 반복되고 있다고 느낀다면 그것은 절대공간 상에서 절대운동과 상대운동(겉보기 운동)이 동시에 일어나고 있다고 보아야 할 것이다.

이 사고실험은 뉴턴이 제안한 회전하는 물통 문제와 본질적으로 동일한 것이다. 물통의 회전 과정에서 물통에 든 물의 가운데가 오목해지는 것은 원심력이 작용하기 때문이다. 브라이언 그린은 뉴턴의 회전하는 물통실험과 관련하여 특수·일반상대성 이론을 적용하는 경우에도 회전하는 물통의 물은 원심력을 받아서 오목해질 것이며, 상대성 이론은 절대시공간 개념을 수용하지 않을 수 없다고

지적이다. 만약 브라이언 그린의 말처럼 절대시공간 개념을 받아들인다면 두 좌표계 사이의 절대적 기준을 부정하는 상대성 원리의 근거는 상당히 취약해진다. 그런데 본 연구는 상대공간과 상대성 원리가 상대성 이론의 방정식과 상충함을 지적으로써 상대성 원리의 근거를 근본적으로 부정한다.

이상의 사고실험들은 다소 다양하게 구성되어 있다. 앞의 다섯 가지 실험들은 광속에 가까운 운동을 전제로 하여, 등속운동을 하고 있는 사람이 외부세계가 아니라 자신이 운동한다는 사실을 확인할 방법이 있음을 보여준다. 이 사고실험 결과들은 시계와 각도계가 보다 정밀해지면 보다 낮은 속도에서도 실험과 측정이 가능해질 것이다. 실제로 최근 미국에서는 30억년에 1초의 오차를 가진 시계를 활용하여 자전거가 시간지연을 일으키는지를 확인한바 있다. 위의 사고실험 1-1과 1-2의 동시성 실험은 멀지 않아서 제트기나 우주선에서 실험과 측정이 가능한 모델이 될 것이다.

이러한 사고실험 결과는 아인슈타인의 상대성원리에 모순된다. 상대성원리는 운동하고 있는 관성계와 반대편 관성계 사이에서 어느 쪽이 운동하는지 구분할 수 없을 때만 성립하는 것이다. 특정 관성계(혹은 물체)에 속해 있는 사람이 자신의 운동을 인식할 수 있다면 상대성원리는 부정되며 절대공간에 대해 절대운동을 하고 있음을 의미한다.

그리고 달리는 기차에서 본 외부시계에 대한 사고실험은 기차 내부의 시계만 느려질 뿐 외부의 시계는 느려지지 않음을 입증하고 있다. 나아가, 기차 내부에서 볼 때 외부의 시계가 느려지는 것처럼 보이지도 않는다는 사실을 확인시켜 준다. 이러한 사고실험 역시 아인슈타인의 상대성원리와 모순되며, 이러한 관점에서 본다면 쌍둥이 역설도 자연히 해명된다.

또, 마주보며 달리는 기차 실험은 우주공간에서 날아가는 물체들 간의 상대속도가 $1c$ 를 넘어설 수 있음을 보여준다. 이는 빛과 물질의 속력이 $1c$ 를 초과할 수 없다는 특수상대성이론 및 로렌츠변환에 배치되며, 운동속력 증가에 따른 길이수축, 시간지연, 질량증가 현상이 물체간의 상대속도에 의존하지 않음을 확인해 준다. 즉, 빛과 물질의 속력 한계 및 운동속력에 따른 길이, 시간, 질량 변화는 절대공간에 대한 절대속도에 연관된 것이다.

쌍둥이 역설에 관한 사고실험은 쌍둥이 역설이 특수상대성 이론에 위배됨을 보여준다. 형이 탄 우주선이 달처럼 가까운 거리를 갔다가 돌아오든 아주 먼 거리를 다녀오든 가속운동만 적용된다는 논리는 스스로 특수상대성이론을 부정하는 것이기 때문이다. 그리고 일반상대론이 분석하고 있는 가속도 운동이 상대운동이 아닌 절대운동이라고 한다면 절대공간의 존재를 부정할 수 없게 된다.

종합컨대 이상의 사고실험들은 모든 운동하는 관성계는 서로 상대적이며 절대적인 운동 기준이 존재하지 않는다는 상대성 원리를 부정하는 것으로 볼 수 있다. 이는 상대성이론의 방정식을 부정하는 것이 아니다. 오히려 상대성 이론의 방정식이 상대성 원리를 토대로 해야 할 필요가 없으며 그것과 상충함을 지적한다. 그리고 상대공간 개념을 대체할 뉴턴의 절대공간 개념의 타당성을 논증하고 있다.

3.2 길이수축 : 공간수축 vs 물체수축

운동하는 물체에 있어서 길이수축은 물체의 길이가 수축하는 것일까 아니면 공간이 수축하는 것일까? 아인슈타인은 운동하는 좌표계의 물체와 공간이 함께 수축하는 것이라고 설명한다.

특수상대성 이론의 방정식은 실제로 공간을 포함한 관성계 전체가 수축되는 인상을 갖게 한다. 특히 상대성 원리 혹은 상대공간을 가정하게 되면, 움직이는 물체의 입장에서는 나머지 전체 우주가 수축되거나 시간이 지연되는 것으로 보이게 된다. 그렇다면 물질과 함께 공간도 수축되는 것이다. 그러나 마이컬슨-몰리실험과 특수상대성 이론의 방정식을 결합해보면 움직이는 물체에 있어서 수축되는 것은 공간이 아니라 물체 자체임을 알 수 있다.

사고실험 2-1 : 동시성 실험의 분석과 공간수축 문제

아인슈타인은 자신의 특수상대성 이론을 설명하는 과정에서 달리는 기차 안에서 전등불을 켜서 거울에 반사되게 하는 사고실험을 제안하였다. 이른바 동시성 실험이다. 이 사고실험에 의하면 기차 안에 있는 사람과 기차 밖에서 기차를 바라보는 사람 사이에 모순적인 상황이 발생한다.

기차 안에서는 빛이 거울에 반사된 시간이 동일하다고 보이지만 기차 밖에서는 그것이 서로 다른 것이다. 그러면서도 두 사람에게 빛의 속도는 모두 c 로 관측된다. 어떻게 이런 일이 일어나게 되는가? 그리고 이 사고실험의 함의는 무엇인가?

여기서는 본 연구의 가설인 ‘빛의 비관성 운동’과 ‘물질의 관성운동’이라는 관점에서 동시성 실험을 해명하고 그것의 함축적 의미를 규명한다. (참고로, 빛의 물질에 대한 비관성 운동은 달리는 기차에서 빛을 앞으로 쏘거나 뒤로 쏘거나 빛의 속도는 일정하다는 것이며, 기차에서 앞이나 뒤로 던져진 물질은 기차의 속도에 영향을 받는다는 것이다.)

그림 2-1에서와 같이 기차의 중앙에 전등이 있고 기차의 양 끝에 거울이 서로 마주보고 있다. 이 사고실험에서 거울의 위치나 전등과의 거리는 사고실험 1-1에서의 시계의 위치와 동일하다. 즉, 전등으로부터 거울 A, B의 거리는 각각 1광초이다.

먼저, 기차가 정지해 있는 상태에서 중앙 전등의 불을 켜는 경우를 생각해보자. 중앙 전등을 켜면 빛은 전후 양 방향으로 날아갔다가 거울 A, B에 반사되어 2초 후에 원점으로 돌아온다. 즉, 두 빛은 1초 만에 거울 A, B에 반사되고 다시 1초 만에 중앙 전등으로 돌아와서 서로 만난다. 이는 기차 안에서 보나 기차 밖에서 보나 똑 같이 관측된다.

이제 기차를 출발시켜서 광속의 $1/2$ 로 속도를 높여보자. 기차가 $0.5c$ 의 속력으로 달리고 있을 때 기차 중앙 전등의 불을 켜 경우, 빛이 거울에 닿아서 반사될 때까지 과정과 시간은 사고실험 1-2에서 빛이 시계 A, B에 닿는 과정 및 시간과 동일하다. 즉, 빛이 거울 A, B에 닿는데 각각 $\sqrt{3}$ 초와 $1/\sqrt{3}$ 초가 소요된다(그림 2-1 참조).

이를 기차 밖에서 보면 (기차로부터 상당한 거리를 두고 기차의 중앙부에서 기차와 수직이 되는 곳에서 보면) 전등 빛은 거울 B에 먼저 반사되고 거울 A에는 거울 B보다 $2/\sqrt{3}$ 초 후에 반사된다.

(기차 밖에서는 빛이 거울 A와 B에 반사되는 시간을 객관적으로 관측할 수 있다.)

그리고 거울 A, B에 반사된 빛들은 각각 $1/\sqrt{3}$ 초와 $\sqrt{3}$ 초 후에 원점으로 돌아오는데, 전후방으로 날아간 빛이 거울에 반사되어 돌아오는데 걸린 시간은 둘 다 $4/\sqrt{3}$ 초이다. 즉, 양 방향으로 날아간 빛이 동시에 돌아와서 만나는 것으로 관측된다.

그렇다면 기차 안에서 볼 때 빛의 운동과정과 시간은 어떻게 될까. 기본적으로 빛의 운동 과정은 기차 밖에서 볼 때와 동일하지만 두 가지 점에서 차이가 있다. 먼저 기차에 탄 사람은 빛이 거울에 반사되어 반대방향으로 돌아와야 빛의 반사를 확인할 수 있다. 그 결과, (양 방향으로 날아간 빛이 동시에 돌아옴으로) 두 빛이 거울 A, B에 동시에 반사된 것으로 보인다. 그리고 달리는 기차 안에서는 시간지연이 일어난다는 사실을 고려해야 한다. 즉, 광속의 $1/2$ 로 달리는 기차 안에서는 $\sqrt{3}/2$ 만큼의 시간지연이 발생하며 기차에 탄 사람에게 두 빛의 왕복시간은 $4/\sqrt{3}$ 초가 아니라 2초만 경과한 것으로 보인다.

이때 기차 안에서는 중앙 전등과 거울 간의 거리를 1광초라고 생각할 것이어서 기차 안에서 측정된 빛의 속력은 c 가 된다. 그리고 이 원리에 따른다면 기차가 어떤 속력으로 달리더라도 기차 안팎에서 빛의 속도는 항상 c 로 관측되는 것이다.

이상의 설명은 본 연구가 제시한 가설들에 기초를 둔 것으로서, 본 연구의 가설들(특히 절대공간, 빛의 비관성운동, 물질의 관성운동 가설)이 동시성 실험 결과와 상합함을 보여 준다.

이번에는 기차(물체)의 운동이 가져오는 길이수축 현상에 대해 검토해보자. 여기서 핵심적인 사항은 길이수축이 단순히 운동하는 물체(물질)의 수축을 의미하는지 혹은 공간을 포함한 관성계 전체의 수축을 의미하는지를 규명하는 것이다.

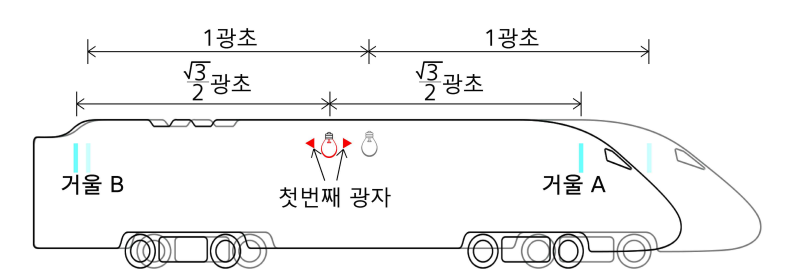
이를 위해 기차 내 빛의 운동을 분석한다. 즉, 물체의 운동으로 길이수축이 발생하였을 때 그것이 수축된 관성계 내 빛의 운동에 영향을 미치는가 하는 문제를 고찰한다. 만약 길이수축이 운동하는 물체의 수축만 가져온다면 관성계 내 빛의 운동에 아무런 영향도 미치지 못할 것이다. 하지만 그것이 공간의 수축을 동반하는 것이라면 기차라는 관성계 내 빛의 운동도 공간수축에 맞추어 조정되어야 할 것이다.

먼저, 길이수축이 단순히 운동하는 물질(물체) 만을 수축시키는 경우를 검토해보자. 이는 본 연구가 제시한 길이수축에 대한 가설(물질의 운동 시 물질에만 길이수축이 발생함)에 따른 경우이다. 앞의 동시성 실험에 대한 분석에서는 빛의 속력을 단순히 c 로 간주하였는데 이는 기차 외부에서의 빛의 이동속력과 동일한 것이며, 기차의 길이가 수축되었음에도 기차 안의 빛의 속력이 기차의 길이수축과 무관하게 그대로 유지된 것이다. 말하자면, 기차내 공간의 수축이 발생하지 않아서 빛의 속력도 그대로 유지된 것이다. 이러한 전제 하에서의 분석이 아인슈타인의 동시성 실험을 설명하는데 유효하였으며 전혀 문제가 없었던 것이다.

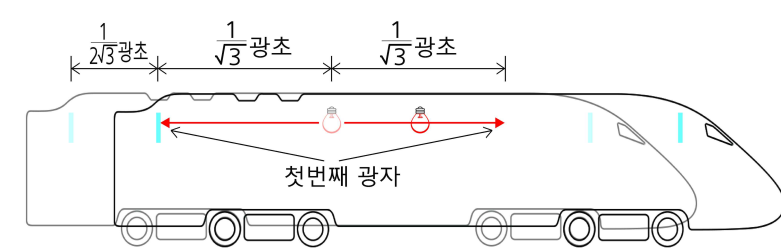
이는 빛의 운동이 날아가는 우주선의 밖에서 뿐 아니라 안에서도 우주선의 속력에 전혀 영향을 받지 않는다는 것이며 결국 우주선 안에서 공간의 수축이 발생하지 않음을 시사한다. 빛은 물질의 운동에 관성을 갖지 않으며 절대공간에 대해 운동한다는 본 연구의 가설과 상합하는 것이다.

그림 2-1 동시성 실험의 분석과 공간수축

- a. 기차가 $1/2c$ 의 속력으로 달릴 때 중앙 전등을 켜 (기차의 길이가 $\sqrt{3}/2$ 만큼 수축됨)

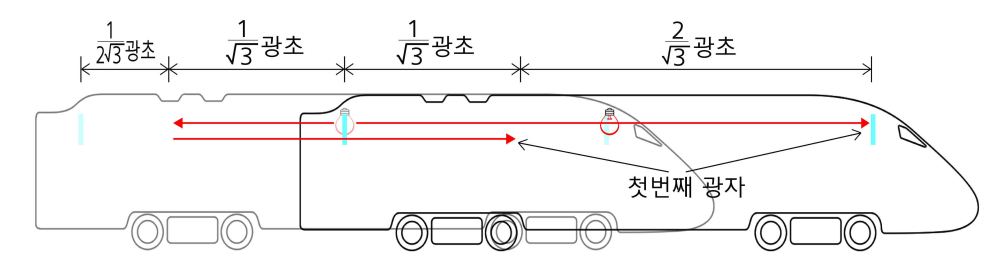


- b. 전등 불빛(첫 번째 광자)이 $1/\sqrt{3}$ 초 후에 거울 B에 반사됨



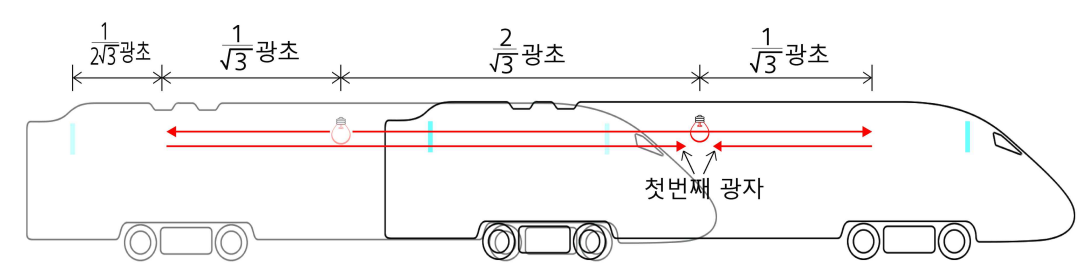
cf) 기차 밖에서 볼 때 거울 B에 빛이 먼저 반사된 것으로 보임. 기차 안에서는 알 수 없음

- c. 전등 불빛(첫 번째 광자)이 $\sqrt{3}$ 초 후에 거울 A에 반사됨



cf) 기차 밖에서 볼 때 거울 A에 빛이 늦게 반사된 것으로 보임

- d. 양 방향으로 날아간 불빛이 $4/\sqrt{3}$ 초 후에 전등으로 돌아옴.



cf) 두 빛이 동시에 돌아옴. 기차 안에서는 빛이 양쪽 거울에 동시에 반사된 것으로 보임.

그렇다면 달리는 기차 안에서 공간이 수축된다고 가정을 하면 어떻게 될까? $0.5c$ 로 달리는 기차 안에서라면, 빛의 속력이 공간의 수축에 대응하여 $\sqrt{3}/2c$ 로 조정되어야 할 것이다. 이는 어떤 운동도 공간을 넘어서지 못하기 때문이며, 그 점은 아인슈타인이 명확히 지적한 바이기도 하다.

$0.5c$ 로 달리는 기차에서 빛의 속력이 공간의 수축에 대응하여 $\sqrt{3}/2c$ 가 되었다고 할 때, 위의 동시성 실험을 시행한다면 흥미로운 결과가 나타난다. 우선, (기차 밖에서 볼 때) 기차의 앞쪽 거울(A)로 날아간 빛은 $\sqrt{3}/(\sqrt{3}-1)$ 초 후에 거울에 반사된다. 그리고 거울에 반사되어 전등으로 돌아오는 데 걸리는 시간이 $\sqrt{3}/(\sqrt{3}+1)$ 초이다. 따라서 전등 불빛이 거울에 반사되어 돌아오기까지의 왕복 시간은 3초가 된다. 뒤쪽 거울(B)로 날아간 빛은 $\sqrt{3}/(\sqrt{3}+1)$ 초 후에 거울에 반사된 다음 $\sqrt{3}/(\sqrt{3}-1)$ 초 만에 중앙 전등으로 돌아온다. 즉, 이 경우에도 빛의 왕복시간은 3초이며 두 빛이 동시에 원점으로 돌아온다.

그러면 두 빛의 속력은 얼마로 측정될까? 이 빛들의 총 운동거리가 $3\sqrt{3}/2$ 광초이기 때문에 빛의 속력은 $\sqrt{3}/2c$ 가 된다. 즉, c 에 미치지 못하는 것이다. 이는 마이컬슨-몰리실험 결과와 배치되는 것이다.

이러한 문제는 기차 안에서도 발생한다. 기차 안에서 볼 때 전등 빛이 양쪽 거울에 반사되어 돌아오는데 걸린 시간은 $3\sqrt{3}/2$ 초이다. 우주선 내 빛의 왕복거리(2광초)를 빛의 운동시간으로 나누면 빛의 속력은 $4\sqrt{3}/3c$ 가 된다. 즉, 기차 내 빛의 속력이 광속(c)보다 느린 것으로 측정된다. 이는 광속이 어디서나 일정하다는 (일정하게 c 로 측정된다는) 마이컬슨-몰리실험 결과에 부합하지 않는 것이다.

이러한 분석 결과가 의미하는 바는 명확하다. 달리는 기차 (혹은 우주선) 안에서 일어나는 길이 수축은 물질(물체)의 수축이며 그 내부 공간이 수축하는 일은 발생하지 않는다는 것이다.

사고실험 2-2 : 우주선에서의 마이컬슨·몰리실험(2)

사고실험 1-4에서와 같이 마이컬슨·몰리의 실험장치를 우주선에 싣었다고 해 보자. 이 장치의 한 쪽은 우주선의 앞 방향을 향하고 다른 쪽은 우주선의 수직 위쪽을 향한다. 이 실험 장치는 양쪽으로 1광초의 길이를 가지고 있다(그림 1-4 참조).

우주선이 정지해 있을 때 레이저 빛을 쏘면 빛은 반투명 거울을 통과하거나 반사되어 양편으로 날아간 후 다시 돌아올 것이다. 빛이 반투명 거울로 돌아왔을 때 빛의 운동거리와 시간은 동일하며 각각 2초가 걸린다.

이번에는 우주선의 속력이 광속의 $1/2$ 에 이르렀을 때 레이저 빛을 쏜다고 해보자. 이때, 사고실험 1-4에서와 같이 마이컬슨·몰리 실험장치의 반투명 거울은 광원으로부터 빛의 진행방향에 대해 30° 로 설치한다. 빛은 반투명 거울에서 분할되어 우주선의 앞 방향과 전방 60° 방향으로 날아갈 것이다.

우주선의 외부에서 볼 때, 우주선의 앞 방향으로 날아간 빛은 우주선이 정지해 있을 때보다 먼 거리를 운동한 후 돌아오게 된다. 우주선의 길이수축 효과를 감안하지 않는다면 빛은 우주선의 앞쪽에 있는 거울(B)에 닿는데 2초가 걸릴 것이며 반사되어 돌아오는데 $2/3$ 초가 소요된다. 즉, 총 $8/3$ 초가 걸린다. 그런데 로렌츠변환과 특수상대성이론에 의하면 광속의 $1/2$ 로 운동하는 물체(혹은 좌표계)는 길이가 전후방으로 $\sqrt{3}/2$ 만큼 수축된다. 따라서 $8/3\text{초} \times \sqrt{3}/2 = 4/\sqrt{3}$, 총 $4/\sqrt{3}$ 초의 시간이 걸리게 된다. 이는 우주선이 정지해 있을 때 빛이 왕복 운동하는 시간 2초 보다 $2/\sqrt{3}$ 배만큼 늘어난 것이다. 하지만 우주선에 타고 있는 사람에게 이 빛은 2초 만에 돌아온 것으로 관측된다. 우주선 내에서는 시간 팽창이 $2/\sqrt{3}$ 만큼 일어나기 때문이다. 즉, $4/\sqrt{3} \times \sqrt{3}/2 = 2$ 가 되는 것이다.

이번에는 마이컬슨·몰리 간섭계에 있어서 상부 거울(A)을 향해 날아간 빛의 운동을 생각해 보자. 전방 60° 방향으로 날아간 빛의 왕복 운동거리는 우주선이 정지해 있을 때 상하로 왕복한 거리보다 당연히 길다. 우주선의 운동 속도가 $1/2c$ 라면 빛의 왕복 운동거리는 $4/\sqrt{3}$ 가 될 것이다. 그것은 우주선이 정지해 있을 때보다 $2/\sqrt{3}$ 배 길어진 것이다. 물론, 이는 외부에서 관찰할 때 나타나는 현상이고, 우주선 내부에서는 빛의 왕복시간이 다르게 측정된다. 우주선 내에서 빛의 왕복시간은 2초가 되는데, 그것은 우주선 내 시간지연 효과로 설명이 가능하다. 우주선이 $1/2c$ 의 속도로 날아간다면 우주선 내에서는 시간 팽창이 $2/\sqrt{3}$ 배 만큼 일어나고 $4/\sqrt{3} \times \sqrt{3}/2 = 2$ 가 되는 것이다.

결국 우주선 내 마이컬슨·몰리 간섭계에서는 양 방향의 빛이 동시에, 그것도 마이컬슨·몰리 간섭계가 정지해 있을 때와 같은 속도(c)로 돌아오게 되는 것이다. 그것은 우주선의 속도를 더 높이거나 낮추더라도 항상 동일하다.

그런데 이 두 빛의 운동을 설명하는데 있어서 중요한 문제가 남아 있다. 우주선에 대해서는 길이수축 효과를 적용한 반면 우주선 내 빛의 운동에 대해서는 길이수축 효과를 적용하지 않은 것이다. 여기서 우리가 갖게 되는 의문은 우주선과 그 내부 물질(물체)들에만 길이수축 효과가 작용하고 우주선 내 공간에 대해서는 길이수축효과가 작용하지 않는가 하는 점이다.

이 문제를 두 가지 상황으로 구분해서 살펴보자. 첫 번째는 우주선 내에서 물질의 길이수축만이

일어나는 경우이다. 즉, 우주선 내 공간은 수축되지 않는다. 두 번째는 우주선내 물질 뿐 아니라 공간이 함께 수축되는 경우이다.

먼저 우주선이라는 물질(물체)만 진행방향으로 수축되었다면 우리의 분석 결과와 일치함으로 문제가 없다. 즉, 앞의 분석은 우주선과 우주선 내부의 물질만 길이수축 효과가 발생하고 우주선 내 공간의 수축은 일어나지 않아서 빛의 운동이 길이수축 이전과 동일한 상황을 가정한 것이며, 이 경우 마이컬슨·몰리장치의 두 빛은 동시에 돌아와서 만나게 된다(그림 1-4 참조). 마이컬슨·몰리 실험 결과와 일치하는 것이다.

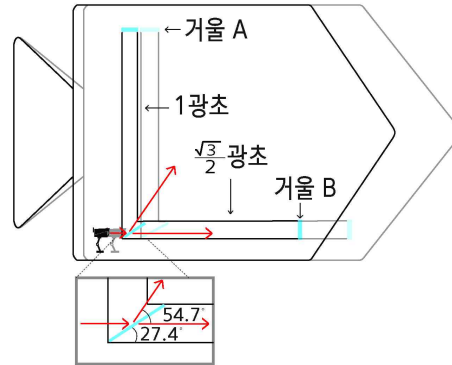
이에 대해 우주선 및 우주선 내의 공간을 포함하는 좌표계(관성계)가 진행방향으로 수축된다면 상황이 달라진다. 아인슈타인의 상대성 원리가 상정하는 것인데, 빛이 공간을 따라서 이동한다면 - 아인슈타인에 의하면 빛은 공간을 따라 운동하며 공간이 휘면 빛의 경로로 휘게 된다. - 공간을 포함한 좌표계의 수축은 (우주선 외부에서 볼 때) 빛의 운동속도에 영향을 미칠 것이다.

우주선의 길이수축이 공간의 수축을 포함한다면 빛은 수축된 공간에 대응하여 속력이 느려지며, 따라서 그림 2-2에서 보듯이 우주선 진행방향에 대해 60° 보다 작은 각도(약 54.7°)로 운동해야 상부의 거울(A)에 반사될 수 있다. 이 때 빛의 왕복운동 시간도 연장될 것인데 시간지연 효과를 적용하더라도 2초 보다 길어진다. 즉, 우주선 내에 있는 사람에게 빛의 속도가 c 에 미달하는 것으로 관측되어야 한다. 또한, 마이컬슨·몰리간섭계 상에서 양쪽으로부터 빛이 돌아오는 시간도 일치하지 않게 될 것이다(그림 2-1 c 참조).

이러한 결과는 명백히 마이컬슨·몰리실험 결과에 배치되는 것이다. 즉, 마이컬슨·몰리실험 결과는 운동하는 물체에 있어서 길이수축이 물체 자체에만 발생하는 것이며 좌표계 내의 공간 수축을 의미하지 않음을 보여준다.

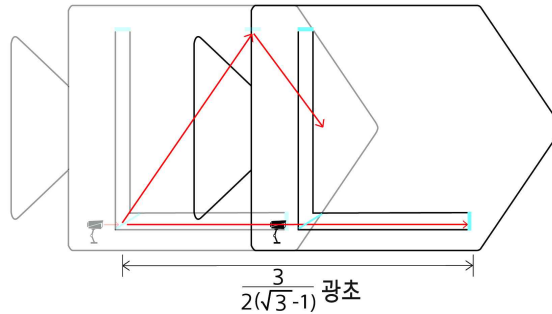
그림 2-2 우주선 내 공간수축이 일어날 경우 마이컬슨·몰리실험

- a. $0.5c$ 로 날아가는 우주선에서 우주선 내 공간수축에 따라 빛의 속도가 조정될 때 마이컬슨·몰리 장치 내 빛의 진행방향



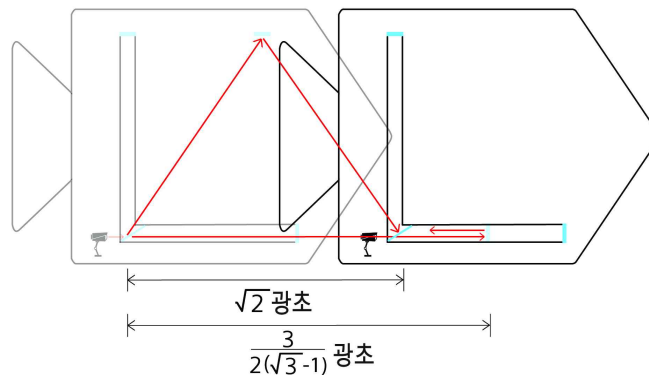
- cf) 빛의 속력이 우주선내 공간수축에 대응해 조정되는 경우 빛이 천정거울(A)에 닿도록 하기 위해서는 반투명 거울을 전방 30° 가 아니라 약 27.4° 로 설치하여 빛이 약 54.7° 로 반사되게 하여야 함

- b. 우주선 내 빛의 속도가 공간 수축에 대응하여 조정될 때 빛의 진행과정



- cf) 앞으로 날아간 빛이 거울 B에 반사될 때, 천정거울(A)로 날아간 빛이 반사되어 내려옴.

- c. 양 방향 빛이 돌아오는 시간의 차이



- cf) 천정거울(A)로 날아간 빛이 반투명 거울에 도착했지만, 거울 B에 반사된 빛은 아직 돌아오지 못함.

사고실험 2-3 : 우주선에서의 마이컬슨·몰리실험(3)

이번에는 마이컬슨·몰리 실험장치를 우주선에 비스듬히 실었다고 가정해 보자. 이 장치의 한 쪽은 우주선의 진행방향에 대해 30° 로, 다른 쪽은 우주선의 진행방향에 대해 60° 를 향하게 설치한다. 여기서도 이 실험장치는 양쪽으로 1광초의 길이를 가지고 있다.

우주선이 정지해 있을 때 레이저 빛을 쏘면 빛은 반투명 거울을 통과하거나 반사되어 양편으로 날아간 후 거울에 반사되어 2초 만에 돌아올 것이다. 빛이 반투명 거울로 돌아왔을 때 양쪽 빛의 운동거리와 시간은 동일하다(그림 2-3 참조).

이제 우주선의 속력이 광속의 $1/2$ 에 이르렀을 때 레이저 빛을 쏜다고 가정해보자. 이번에는 마이컬슨·몰리장치의 양편에 붙어있는 거울을 향해 날아가는 빛이 정확히 반사되게 하기 위해서는 반투명 거울만으로는 부족하다. 왜냐하면 빛의 방향을 양쪽 모두 바꾸어 주어야 하기 때문이다. 그래서 반투명 거울을 삼각기둥 모양의 양면 거울(이하 삼각기둥 거울)로 대체한다. 이 거울의 각도는 적절히 조정해야 하며 이때 광원의 위치도 바꿀 필요가 있다. 기차 바닥에서부터 광원과 거울의 높이를 일치시키고 거울은 수평방향에 대해 각각 약 18.4° 와 약 -8.8° 로 설치한다. (물론 훨씬 더 정밀한 값을 구해서 장치를 해야 할 것이다.)

준비를 완료한 후 광원에서 레이저 빛을 쏘면 삼각기둥 거울에서 반사되어 각기 마이컬슨·몰리 장치의 양편 끝에 부착된 거울로 날아갈 것이다. 그리고 두 거울에 반사되어 삼각기둥 거울로 다시 모이게 된다. 우주선의 외부에서 볼 때, 양 방향으로 날아간 빛은 우주선이 정지해 있을 때보다 먼 거리를 운동한 후 돌아온다. 그것은 사고실험 2-1로부터 쉽게 유추될 것이다. 이제, 빛의 이동거리를 계산해보자. 먼저 우주선과 마이컬슨·몰리 실험장치의 길이수축 효과를 적용해야 할 것인데 이 실험장치는 우주선과 함께 전후 방향으로 $\sqrt{3}/2$ 만큼 길이가 수축된다. 그에 따라서 우주선의 진행방향에 대해 60° 로 설치된 ‘빛 통로’는 약 63.4° 의 각도를 가지게 되고 우주선의 진행방향에 대해 30° 로 배치된 ‘빛 통로’는 약 33.7° 의 각도가 된다. 삼각기둥 거울로부터 양편 거울까지 수평방향 거리는 각각 $\sqrt{3}/4$ 과 $3/4$ 으로 축소된다.

60° 방향으로 설치된 빛 통로에 있어서의 빛의 운동을 먼저 분석해 보면, 삼각기둥 거울로부터 지면에 대해 36.9° 방향으로 날아간 빛은 $5/2\sqrt{3}$ 초 후에 상부 거울에 닿게 된다. 이 빛은 거울에 반사된 후 수직으로 $\sqrt{3}/2$ 광초를 낙하하여 다시 삼각기둥 거울과 만난다. 빛의 총 운동시간은 $4/\sqrt{3}$ 초이다. (물론, 우주선 내에 있는 사람은 빛이 2초 만에 돌아온 것으로 보게 되는데 로렌츠변환에 의해 $2/\sqrt{3}$ 만큼 시간 팽창이 일어나기 때문이다. 즉, $4/\sqrt{3} \times \sqrt{3}/2 = 2$ 이다.)

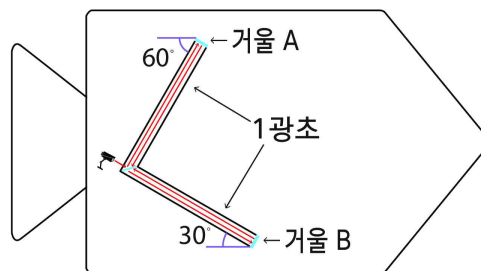
우주선의 진행방향에 대해 30° 로 방향으로 설치된 빛 통로로 날아간 빛은 어떻게 될까? 이 빛 역시 삼각기둥 거울을 출발하여 -17.6° 방향으로 $1/2 + 2/\sqrt{3}$ 초 만에 반사 거울까지 날아간다. 그 후 $2/\sqrt{3} - 1/2$ 초 동안에 삼각기둥 거울로 되돌아온다. 빛의 운동시간은 총 $4/\sqrt{3}$ 초이다. (이 경우에도 우주선 내에 있는 사람은 시간지연 효과에 의해 빛이 2초 만에 돌아온 것으로 보인다.)

이 사고실험 결과는 길이수축의 본질과 관련하여 아주 중요한 함의를 가지고 있다. 이 사고실험에서 실험장치의 길이수축, 즉 물체의 전후방 길이수축만 적용하면 광속의 항상성, 그리고 동시성

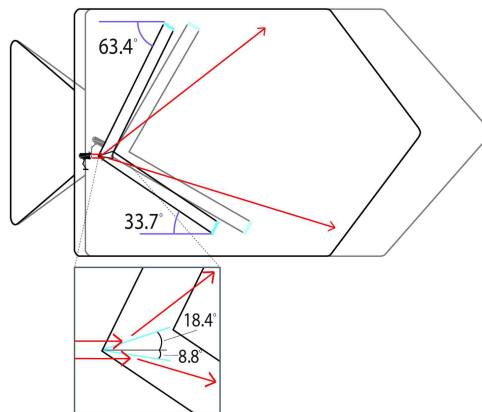
문제가 완전히 해결되기 때문이다. 여기에다 우주선 내의 좌표계(공간)수축 효과를 적용하거나 좌표계 수축에 따른 빛의 운동경로 조정 등을 고려할 경우, 광속의 항상성이 유지되지 않으며 마이컬슨·몰리 실험 및 동시성 실험 결과와도 상치하게 된다. 결국 우주선의 운동은 우주선과 우주선 내부 물체의 길이수축을 가져올 뿐 좌표계나 공간의 길이수축을 수반하지 않음을 알 수 있다.

그림 2-3 우주선 내 마이컬슨·몰리장치를 기울였을 때 빛의 진행경로

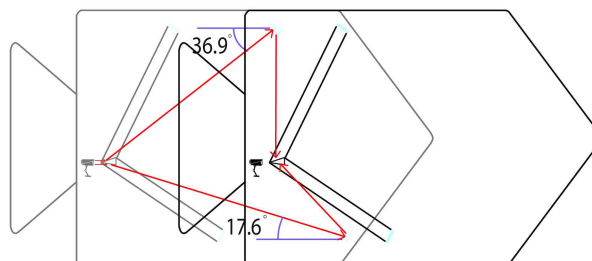
- a. 우주선이 정지해 있을 때 비스듬히 기울인 마이컬슨·몰리 장치의 실험



- b. 우주선이 $0.5c$ 속력으로 날아갈 때 비스듬히 기울인 마이컬슨·몰리장치 실험
→ 반투명 거울 대신 삼각막대 거울을 지면에 대해 18.4° , -8.8° 로 설치함



- c. 우주선이 $0.5c$ 속력으로 날아갈 때 빛의 이동 경로



사고실험 2-4 : 우주선 밖으로 연장된 마이컬슨·몰리실험 장치

이번에는 마이컬슨·몰리실험 장치가 우주선 밖으로 연장된 경우를 생각해보자. 그림 2-4에서 보듯이 우주선보다 마이컬슨·몰리실험장치가 커서 우주선 밖으로 길게 뻗어 나와 있다.

마이컬슨·몰리실험장치를 2-4 a와 같이 우주선에 대해 한글의 ㄴ자 형태로 장착하고 우주선이 0.5c로 등속운동을 한다. 우주선과 마이컬슨·몰리실험장치는 0.5c 속력에서 전후 방향으로 $\sqrt{3}/2$ 만큼 수축될 것이다.

여기서 우주선과 마이컬슨·몰리실험장치가 우주선의 속력에 대응하여 수축될 것이라는 데 대해서는 의심의 여지가 없다. 다만 본 연구는 이 관성계에서 공간도 수축될 것인가 하는데 대해 의문을 제기한다. 그리고 공간이 함께 수축한다고 할 때 수축되는 공간의 범위를 구획할 수 있는가 하는 것은 또 다른 의문점이다.

만약 길이수축이 우주선과 마이컬슨·몰리실험장치라는 물질(물체)의 수축에 제한되고 공간수축이 일어나지 않는다면 문제는 간단하다. 이 실험은 앞의 사고실험 2-2과 같이 아무런 문제없이 진행될 것이고 두 빛은 동시에 반투명 거울로 돌아올 것이다. (물론, 이 실험에서 빛을 쏘아서 마이컬슨·몰리실험장치의 두 거울에 반사되어 되돌아오게 하기 위해서는, 반투명 거울을 우주선의 진행방향에 대해 30°로 조정하여 빛의 일부가 60°방향으로 반사되게 해야 할 것이다. 그러한 상태에서 마이컬슨·몰리 실험을 한다면, 관측자는 그림 2-2에서와 같이 두 빛이 각각 거울 A, B에 반사되어 동시에 반투명 거울에 돌아오는 것을 확인할 수 있을 것이다.)

이번에는 운동하는 관성계에서 길이수축이 발생하고 그것이 관성계 내 공간에도 영향을 준다고 가정해 보자. 이 경우 빛은 관성계 내 공간의 수축에 준하여 속력이 조정될 것이다. 아인슈타인의 설명에 의하면 빛을 포함한 모든 물질의 운동은 공간의 형태에 영향을 받으므로 우주선 내에서와 우주선 밖에서 빛의 운동은 달라진다. (외부에서 볼 때) 빛의 속력이 공간의 수축에 대응하여 느려진 경우에는 사고실험 2-2에서처럼 마이컬슨·몰리장치의 빛이 반투명 거울로 동시에 돌아오지 못한다. 뿐만 아니라 두 빛의 광속이 c보다 느린 것으로 측정될 것이다.

나아가 우리는 두 번째 의문을 갖게 된다. 즉, '이 우주선에서 수축되는 공간의 범위가 어디까지 인가'하는 것이다. 우주선과 마이컬슨·몰리실험장치에서 어떤 영역의 공간이 수축될 것인가. 우주선 내 공간은 수축되는 관성계에 당연히 포함될 것이지만, 우주선 밖에 위치한 마이컬슨·몰리실험장치의 빛의 이동통로에서는 공간수축이 일어날까?

이 문제를 두 가지 경우로 구분하여 보자. 우선 우주선 안에서는 공간수축이 일어나지만 우주선 밖의 마이컬슨·몰리실험장치에서 공간 수축이 일어나지 않는 경우이다. 다음은 우주선 안팎의 마이컬슨·몰리실험장치에서 공간수축이 모두 발생하는 경우이다.

전자의 경우, 즉 우주선과 거울 사이의 영역에서 공간이 수축되지 않는다면 빛의 속력이 우주선 내와 우주선 밖에서 달라질 것이다. 그렇다면, 몇 가지 문제들이 나타날 수 있다. 우선 물체(실험장치)가 수축했음에도 공간이 수축되지 않은 부분이 존재한다는 점이다. 이는 길이수축이 물체의 수축에 한정되며 공간의 수축과 무관할 수 있음을 보여준다. 그리고 이러한 공간수축은 마이컬슨·몰리실험

험 결과와 합치되지 않는다. 즉, 양방향으로 날아간 빛은 동시에 반투명 거울에 도달하지 못하며 또한 되돌아온 빛의 속력이 c 보다 느려질 것이다.

더하여, 빛의 속력이 변하는 우주선 안팎의 경계가 문제가 된다. 우주선 내와 우주선 밖이라는 경계가 생각보다 간단하지 않을 수 있다. 우주선의 창문(유리 창문)이 앞으로 상당히 돌출되어 있거나 뒤로 물러나 있을 수 있고, 형태도 원모양, 삼각형, 꽃모양, 별 모양 등 특이한 경우가 있을 수 있다. 또, 창문이 완전히 닫혀 있거나 열려 있을 수도 있고 제대로 닫히지 않아서 틈새가 있을 수도 있다. 이 경우 우주선 내외부의 공간이 명확히 구분될 수 있을까?

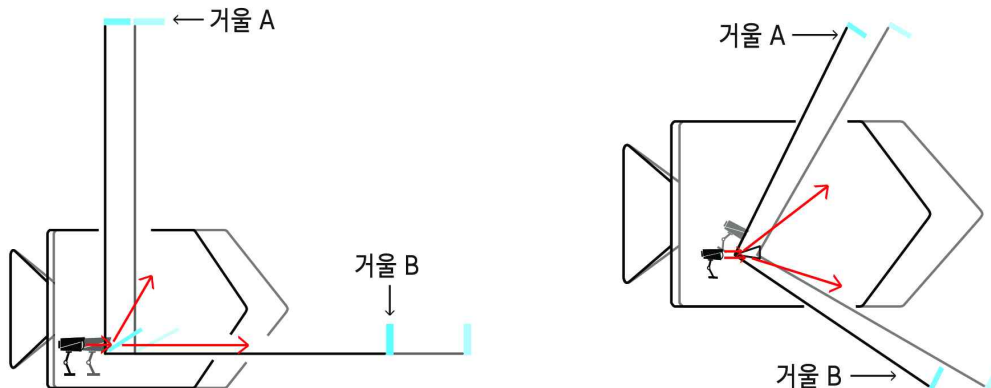
후자의 경우에도, 즉 우주선 밖의 마이컬슨·몰리실험장치에서도 공간수축이 일어난다고 하더라도, 문제가 간단하지 않다. 먼저, 전술한 바 공간수축은 마이컬슨·몰리실험 결과와 상합하지 않는다. 더구나 우주선 외부로 연장된 마이컬슨·몰리실험장치에서 공간수축이 발생한다면 여기서도 공간수축이 일어나는 영역과 그 경계선이 문제가 된다. 우주선 외부 마이컬슨·몰리실험장치에 있어서 거울의 형태가 다양할 수 있는데 (예컨대 삼각형, 사각형, 원, 해바라기꽃 모양 등) 이 다양한 형태에 대응하여 수축되는 공간의 경계가 구획될 수 있을까?

나아가 이런 의문이 제기될 수 있다. 마이컬슨·몰리실험장치의 길이를 대폭 연장하고 거울 A, B의 크기를 확대하면 우주선과 거울 사이의 거대한 영역의 공간이 수축될 것인가? 거울이 반사기능을 거의 못할 경우, 반사 기능을 하더라도 아주 미미하게 만 할 경우 공간이 수축되는가? 혹은 거울이 아닌 레이더나 광선무기가 장착되어 있다면 이때도 우주선과 레이저 사이 공간이 수축될 것인가? 우주선이 방향을 바꿀 때 수축된 공간은 원래의 공간을 밀어낼 것인가? 이 수축된 공간에 어떤 물체가 들어온다면 그 물체는 수축된 공간에 영향을 받아서 압축될 것인가?

이러한 문제들은 그림 2-4 b와 같이 마이컬슨·몰리실험장치를 비스듬히 기울여서 실험하는 경우에도 마찬가지로 제기된다. 길이수축이 공간을 포함한 관성계의 수축이라고 믿는 학자들은 이상에서 제기된 문제들에 답할 수 있을까? 이 사고실험의 결과는 운동하는 물체에 있어서 길이수축이 물질의 수축에 한정되며 공간의 수축을 수반하지 않음을 시사한다.

그림 2-4 우주선 밖으로 연장된 마이컬슨·몰리실험 장치

- a. 우주선 밖으로 연장된 마이컬슨·몰리장치(1) b. 우주선 밖으로 연장된 마이컬슨·몰리장치(2)



사고실험 2-5 : 우주선의 길이수축이 우주선 내 물질의 운동에 미치는 영향

앞의 사고실험들(사고실험 2-1, 2-2, 2-3, 2-4)이 날아가는 우주선의 길이수축이 빛의 운동에 영향을 줄 수 없다는 것을 논증하였다면, 이번에는 날아가는 우주선의 길이수축이 물질(물체)의 운동에 영향을 줄 수 있는지를 분석한다. 만약 우주선의 운동에 따른 길이수축이 우주선과 우주선 내 물질의 길이 수축을 넘어서 우주선 내 공간의 수축을 동반한다면 우주선 내 물질의 운동에도 영향을 미칠 것이다. 예컨대 우주선 안에서 우주선이 날아가는 방향으로 총을 쏘면 총알은 수축된 공간의 영향으로 (외부에서 볼 때) 그 속력이 느려질 것이다. 물론, 공간이 수축되지 않는 경우라면 물질의 운동에 영향에 미치지 못할 것이다.

날아가는 우주선에서 앞쪽으로 총을 쏜다고 해보자. 정지 상태에서 총알이 100m/s로 날아가는 총이 있다고 할 때 광속에 가깝게 날아가는 우주선 안에서 총을 쏘면 총알의 속력은 어떻게 될까? 0.5c로 날아가는 우주선 안에서 앞쪽으로 총을 쏘면 총알의 속력은 $0.5c + 100\text{m/s}$ 보다 낮아진다는 건 로런츠변환과 특수상대성이론이 증명한 바다.

우선 0.5c 속력에서는 총알의 질량이 증가하여 $\sqrt{3/2}$ 만큼 속력의 감소가 발생한다. 더하여 우주선 안에서 공간을 포함한 관성계의 수축이 일어난다면 공간의 수축에 대응하여 총알의 속력이 추가적으로 ($\sqrt{3/2}$ 만큼) 느려지게 될 것이다. 만약 우주선이 달리는 방향으로 우주선 내 공간이 수축된다면, 정지 상태에서 100m/s로 날아가던 총알은 (총알의 질량증가에 따른 속력 감소와 함께 공간 수축을 동시에 고려하면) 속력이 $0.5c + 75\text{m/s}$ 로 감소한다. 그렇지 않고 총알의 질량증가만 일어나고 공간수축은 발생하지 않는다면 총알의 속력은 $0.5c + 50\sqrt{3}\text{m/s}$ 가 될 것이다.

과연 날아가는 우주선 안에서는 공간이 수축되어 총알의 속력에 영향을 미칠 것인가? 사실 이러한 현상을 확인하기 위해서는 광속에 가까운 속도로 날아가는 우주선이 필요하다. 하지만 현실적으로 광속에 가까운 속력으로 날아가는 우주선을 개발하는 것은 불가능하다. 따라서 다음과 같은 사고실험을 해보자.

우주선 안에서 쏜 총알이 우주선의 앞 창문을 관통하여 우주선 밖으로 날아가는 경우를 가정한다. 만약 우주선 내 공간이 수축된다면 (우주선 밖에서 볼 때) 총알의 속력이 우주선 안에서 느려질 것이며 총알이 우주선 밖으로 나가면 더 빨라질 것이다. 우주선 안에서는 공간이 수축되어 총알의 속력이 느려지는 반면 우주선 밖에서는 공간이 수축되어 있지 않음으로 총알의 속력이 원래의 상태로 돌아올 것이기 때문이다.

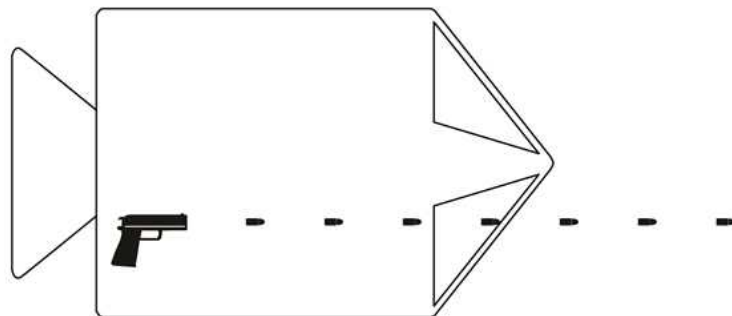
우주선 안에서 총을 쏘았을 때 총알의 속력이 우주선을 벗어난다고 속력이 (공기 저항 등이 달라지지 않는다면) 빨라질 수 있을까. 이런 현상이 일어나기 위해서는 무엇보다도 공간이 수축된 우주선의 실내와 수축되어 있지 않은 실외가 구분될 수 있어야 한다. 그림 2-5에서와 같이 우주선의 앞 창문을 개방하고 날아가면서 전방으로 총을 쏜다고 할 경우 비스듬하게 생긴 창문의 어디까지가 수축된 우주선 내부 공간이며 어디서부터 수축되지 않은 우주선 외부 공간일까. 더구나 창문이 조금 열린 상태이거나 창문의 형태가 구부러지거나 들쭉날쭉한 경우에는 수축된 내부 공간과 수축되지 않은 외부 공간의 경계는 더욱 모호해진다.

그것은 자동차를 타고 가면서 총을 쏘 때도 발생할 수 있는 문제다. 자동차를 하나의 관성계로 보았을 때 자동차의 운동은 길이수축을 일으키겠지만, 자동차의 운동이 물질(물체)의 길이수축을 넘어서 자동차 내 공간에 영향을 줄지는 의문스럽다. 무엇보다도 수축이 되는 자동차 내부 공간과 수축되지 않는 외부 공간이 구분되지 않는 것이다. 자동차의 옆 창문을 완전히 열었을 때, 옆문이 조금 열린 채(제대로 잠기지 않은 채) 달리고 있을 때, 앞 창문을 앞쪽으로 조금 열었을 때, 뒤 창문을 열었을 때, 뒤 창문의 일부가 깨져 있을 때, 자동차 덮개(지붕)가 우그러져 있을 때, 앞 창문만 두고 자동차 덮개 전체를 개방했을 때 ... 이 모든 경우에 있어 자동차의 내부공간과 외부공간의 경계가 명확히 확정될 수 있을까? 자동차에서 앞쪽으로 총을 쏘다면 총알은 어디에서부터 내부공간을 벗어나 외부공간으로 진입하며 속도가 달라질 것인가?

이상의 의문에 답하는 것은 사실상 불가능하다. 그리고 이렇듯 답할 수 없는 이유는 실제로 달리는 자동차에서 (혹은 날아가는 우주선에서) 수축되는 공간이 특정되지 않으며 나아가서 공간 자체가 수축되지 않기 때문이다.

결과적으로 이 사고실험은 운동하는 관성계가 관성운동을 하는 일체의 물질 덩어리이며 거기에는 공간이 포함되지 않음을 보여준다. 따라서 관성계에 있어서 길이수축, 질량증가, 시간지연을 일으키는 실체도 물질에 한정된다. 그것은 관성운동이 가속도 운동으로 전환되는 경우에도 마찬가지이다. 즉, 물질만이 공간상에서 운동한다. 공간은 정지되어 있고 물질의 운동에 동반하지 않는다는 것이다.

그림 2-5 우주선에서 총을 쏘 때 총알의 속도 변화



사고실험 2-6 : 앞뒤 동체가 체인으로 연결된 우주선

그림 2-6과 같이 우주공간을 등속으로 날아가는 우주선의 앞뒤 부분이 체인으로 연결된 경우를 가상해 보자. 이 체인은 상당히 길며 우주선의 앞 동체와 뒤 동체를 튼튼하게 연결해준다. 우주선을 ‘이동하는 좌표계’라는 관점에서 본다면 이 우주선 전체가 하나의 ‘이동하는 좌표계’가 될 것이다. 상대성 원리에 의하면 이 좌표계는 나머지 우주에 대해 상대운동을 하고 있다.

만약 이 우주선이 광속에 가깝게 운동한다면 우주선 전체의 길이는 수축될 것이다. 우주선 앞 동체부분, 체인, 뒤 동체부분 모두 길이수축이 일어날 것이다. 이제, 우주선의 앞 동체가 속도를 줄인다고 생각해보자. 우주선의 앞뒤 동체를 연결하는 체인이 앞에서부터 구부러질 것이다. 앞 동체의 속도변화가 체인으로 전달되는 과정은 점진적으로 진행될 것인데, 이 과정에서 체인의 개별 고리들은 운동방향과 속도가 모두 달라질 것이며 제각기 요동치며 운동을 하게 된다. 그리고 이는 마침내 뒤 동체에까지 전달될 것이다.

이제 체인고리들의 운동 상태와 길이수축을 생각해보자. 그것들은 각기 다른 방향과 속력으로 운동을 하고 있으므로 제각기 운동방향으로 길이수축을 일으킬 것이다. 이러한 길이수축을 체인고리라는 개별 물체의 수축으로 보면 그다지 문제될 것이 없다.

그러나 상대성원리의 관점에서 보면 이 체인고리들은 각기 ‘공간을 포함한 좌표계’로 간주되며 이 경우 문제가 전혀 달라진다. 각각의 체인 고리가 별개의 좌표계이자 공간이라면 체인고리들이 서로 엉켜서 운동함으로써 좌표계와 공간의 영역을 구분하기가 곤란해지는 것이다.

이제, 이 문제를 조금 더 극단화시켜 보자. 이번에는 우주선의 앞뒤 동체를 철선으로 연결했다고 가정한다. 앞에서와 같이 등속운동을 하던 우주선의 앞 동체가 속도를 조금 줄인다. 그 힘은 철선의 앞부분으로 전달될 것이며 철선의 앞부분이 휘기 시작할 것이다. 그리고 마침내 철선 전체에 이 힘이 작용하여 철선 전체가 구부러지고 요동을 칠 것이다.

이 상황에서 철선의 모든 부분(원자)은 각기 다른 방향과 속력으로 운동을 할 것이고, 그에 따라 모든 부분(원자)들이 제각기 운동방향으로 길이가 수축될 것이다. 이러한 길이수축 현상을 물질(원자)의 길이수축으로 이해하면 과히 문제될 것이 없다. 각각의 원자들의 길이가 운동방향으로 수축되며 운동방향과 속도가 바뀔 때 따라 수축 방향과 수축 정도가 달라진다고 볼 수 있다.

그러나 상대성원리의 관점에서 보면 문제는 매우 복잡하고 난해해진다. 이 관점에서는 철선의 모든 개별 원자들의 운동속도와 방향이 조금씩 다르기 때문에 개별 원자들을 각기 ‘이동하는 좌표계’로 간주하지 않을 수 없게 된다. 각각의 원자들이 각기 좌표계가 되어 길이가 수축될 뿐 아니라, 운동방향과 속도가 달라짐에 따라 계속해서 수많은 좌표계가 수축방향과 수축 정도가 달라져야 하는 것이다. 이때 좌표계가 공간을 포함하는 것이라면 공간이 소규모로 나뉘어져서 어지럽게 요동치는 결과가 된다. 물체의 운동이 공간을 내포한 좌표계를 가진다는 개념은 개별 원자의 운동이 각기 다른 상황에서는 수많은 좌표계와 공간이 춤추듯 움직인다는 비현실적인 결론에 이르게 되는 것이다.

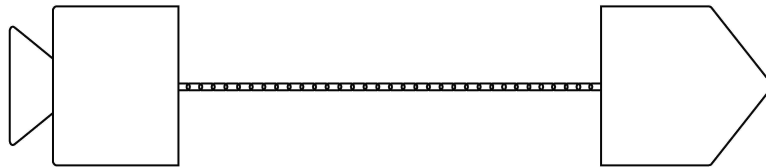
더하여, 이번에는 이러한 체인이나 고리의 요동이 우주선 앞뒤 동체에 영향을 주어서 우주선 자체가 흔들리고 요동치는 경우를 생각해보자. 이러한 요동은 우주선 내의 모든 원자들의 운동에 조금

씩 다른 영향을 줄 수 있다. 그것은 원자들의 길이수축에 영향을 줄 것이고 원자들의 길이수축은 조금씩 다를 것이다. 그렇다면 우주선의 모든 원자들이 각기 다른 좌표계가 될 수밖에 없는데 그것도 지속적으로 길이변화를 수반하는 수많은 좌표계가 아닐 수 없다.

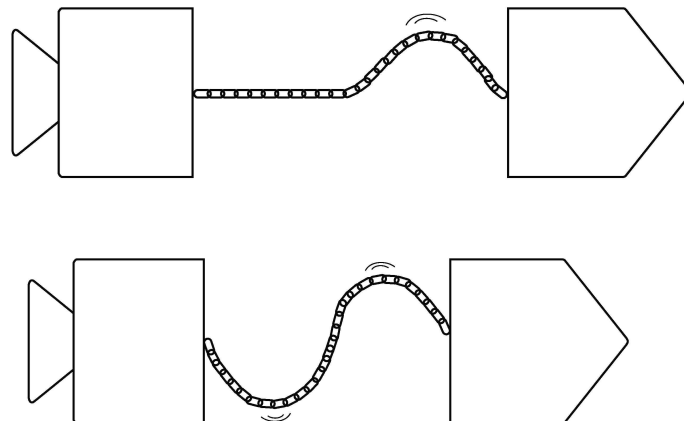
이러한 사실은 물질의 운동에 의한 길이수축이 물질의 길이수축에 한정되며 공간의 수축으로 확대 해석될 여지가 없음을 보여준다. 왜냐하면 (진공의 무중력 공간을 나는) 우주선 내 모든 공간을 물질이 완전히 채우고 있지 않다면 물질이 존재하지 않는 공간은 좌표계를 형성하지 못하기 때문이다. 공기 분자와 같은 물질이 차지하지 않은 공간은 길이수축 비율이 정해지지 않으며 결국 수축하지 않는 것으로 보아야 할 것이다. 또, 우주선 내 모든 공간을 물질이 완전히 채우고 있다면 모든 공간이 제각기 달리 수축될 것이며, 결국 길이수축은 공간이 아니라 물질에 의존하는 것이다.

그림 2-6 우주선의 앞뒤 부분을 체인으로 연결한 경우

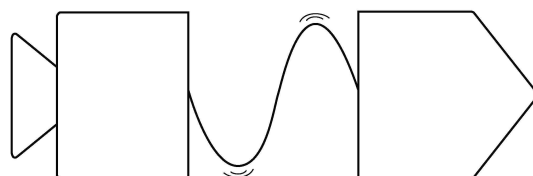
a. 우주선 앞뒤 부분을 연결하는 체인



b. 우주선의 앞 동체가 속력을 늦추었을 경우



c. 우주선 앞뒤 부분을 철선으로 연결한 경우 앞 동체 감속으로 인한 철선의 길이수축



사고실험 2-7 : 앞뒤 동체가 쇠막대로 연결된 우주선

우주공간을 날아가는 우주선의 앞뒤 동체가 긴 쇠막대로 연결된 경우를 가정해 보자(그림 2-7 e 참조). 상대성 원리가 상정하듯이 우주선을 ‘이동하는 좌표계(혹은 관성계)’라고 본다면 우주선 전체를 ‘이동하는 좌표계’로 볼 수 있을 것이다. 이 좌표계는 나머지 우주에 대해 상대운동을 하는 것으로 간주된다.

우주선이 우주 공간을 날아가면 우주선 앞 동체와 쇠막대 그리고 뒤 동체 모두 길이가 수축될 것이다. 이제, 우주선의 동체와 그것을 연결하는 쇠막대의 앞 연결 핀을 제거해 보자(그림 2-7 b 참조). 겉보기와 관계없이 우주선은 실제적으로 두 부분으로 분리될 것이다. 이렇듯 분리된 우주선은 하나의 좌표계(관성계)라고 할 수 있을까? 상대성 원리 관점에서 본다면, 이들이 모두 같은 방향과 속도로 운동한다면 하나의 관성계(좌표계)가 아니라고 할 수 없을 것이다.

이제 우주선의 앞뒤 동체의 속도를 높여 보자. 참고로, 앞뒤 동체 모두 동력장치가 있어 속도를 높일 수 있다고 가정한다. 그러면 우주선의 두 부분에서 조금씩 더 길이수축이 일어날 것이다. 문제는 이러한 길이수축 결과 우주선의 두 부분이 서로 거리를 두고 분리될 것인가 하는 점이다(그림 2-7 c 참조). 운동에 의한 길이수축을 물체의 길이수축으로 보는 관점에서는 당연히 우주선의 두 부분이 각기 수축되어 그것들 사이에 거리가 생기게 된다. 하지만 상대성 원리 관점에서는 좌표계 자체가 수축됨으로 우주선의 2 부분이 사실상 연결된 것처럼 보일 것이다. 일단 후자와 같은 현상이 일어난다고 간주하고 사고실험을 진행시켜보자.

우주선 앞뒤 동체 사이의 쇠막대의 고리를 분리하여 쇠막대를 빠져나오게 한다(그림 2-7 d 참조). 우주선의 앞뒤 동체가 일정 거리를 두고 떨어져 있어서 완전히 분리된 것으로 보일 것이다. 하지만 상대성 원리에 의하면 앞뒤 동체가 동일 방향과 속도를 유지한다면 하나의 관성계를 유지하고 있다고 할 것이며, 이는 앞뒤 동체 뿐 아니라 그 사이의 공간(좌표계)이 수축되어 있다는 것이다.

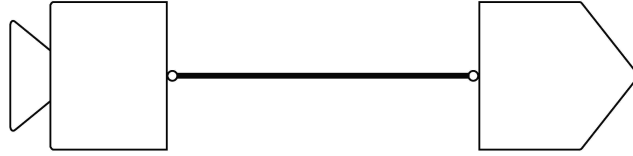
이제, 앞뒤 동체 사이 수축된 공간에 우연히 소행성이 (등속으로) 지나가는 경우를 생각해보자(그림 2-7 e 참조). 동체 사이 수축된 공간을 통과하는 소행성(과 그 관성계)은 어떤 방향으로 수축될 것인가. 본래 날아가는 방향으로 소행성의 관성계가 수축되어 있었을 텐데, 수축된 좌표계(공간)에 들어감으로써 다른 방향의 길이수축이 동시에 발생할까? 소행성의 일부만이 이 수축된 좌표계(공간)에 들어가고 나머지 부분은 그 바깥쪽을 통과하고 있다면 그 일부분만 수축될 것인가?

물체들의 운동으로 인해 수축된 공간(좌표계)에 들어감으로써 물체나 좌표계가 수축되는 것은 현실적으로 타당하지 않지만 상대성이론에도 부합하지 않는다. 물체 두 개가 우주공간 상에서 같은 방향으로 같은 속도로 날아간다고 그 사이 공간이 함께 수축한다면, 우주의 양끝에서 미세한 먼지나 소행성이 우연히 동일한 방향과 속도로 운동할 때 그 사이에 들어가는 모든 것들이 수축되어야 할 것이다. 특히 그것이 공간을 포함한 좌표계의 수축이라면 그 사이에 있는 천체와 물질들도 한꺼번에 일정 비율로 수축되어야 한다. 물론 이런 일은 일어나지 않고 일어날 수도 없다.

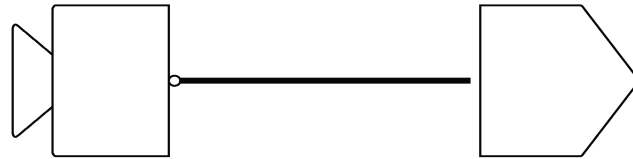
이 사고실험이 의미하는 바는 우주공간상의 운동에 따른 길이수축은 물체(물질)의 길이수축이며 공간의 수축 혹은 좌표계의 길이수축이 아니라는 사실이다.

그림 2-7 앞뒤 동체가 쇠막대로 연결된 우주선

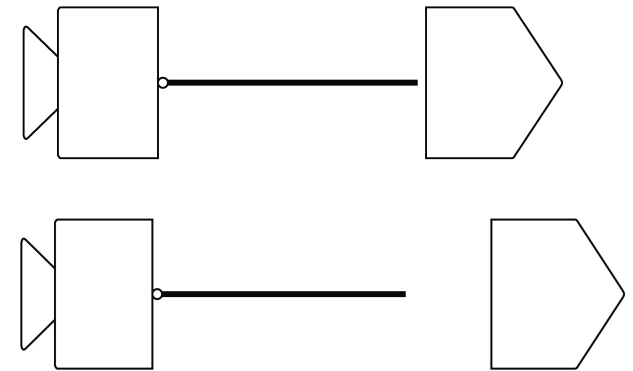
a. 앞뒤 동체가 쇠막대로 연결된 우주선



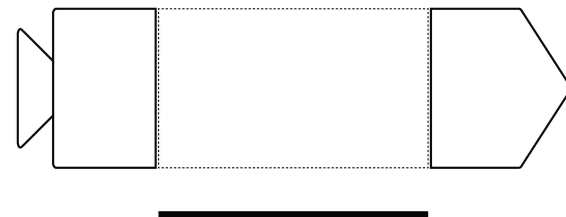
b. 앞 동체와 쇠막대 사이 연결고리 제거



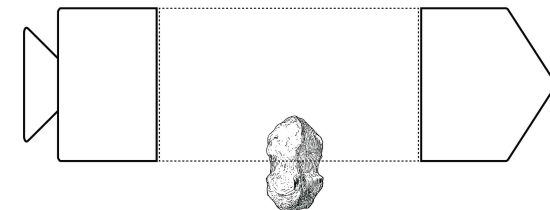
c. 우주선 앞뒤 동체의 속력 증가에 의한 길이 수축 효과



d. $0.5c$ 속력으로 날아가는 우주선의 앞뒤 동체로부터 쇠막대 분리



e. $0.5c$ 속력으로 날아가는 우주선의 앞뒤 동체 사이에 들어온 운석



사고실험 2-8 : 공간의 결여와 중복

현대물리학은 전술한바 물질과 함께 공간을 물리적 실체로 파악한다. ‘공간이 휜다.’, 혹은 ‘공간이 수축한다’는 상대성 이론의 개념은 공간을 물리적 실체로 간주하기 때문에 가능한 것이다.

그런 점에서 상대성이론은 뉴턴의 공간관을 계승하였다고 할 수 있다. 뉴턴 당시 공간을 실체로 인식한 뉴턴과 물질만을 물리적 실체로 인정하고 공간의 존재를 부정한 라이프니츠가 대립한 바 있다. 이 때 뉴턴이 유명한 우주공간에서의 물통실험이라는 사고실험을 제시함과 아울러 공간의 독자적인 성질을 분석해 냄으로써 이 논쟁을 완승으로 이끈 바 있다. 말하자면, 아인슈타인의 상대성이론은 뉴턴의 공간실재론을 수용, 계승한 것이다.

공간실재론의 관점에서 보면 우주는 공간이 빈틈없이 메우고 있다. 우주 어떤 부분에 물질이나 에너지가 존재하지 않고 비어 있을 수 있지만, 공간이 부재할 수는 없다고 본다.

이런 관점에서 볼 때 물질의 운동(혹은 중력)이 좌표계를 수축시켜서 물질들 뿐 아니라 공간도 수축시킬 것이라는 상대성이론은 자체적으로 모순을 갖게 된다. 우주공간을 날아가는 물체, 예컨대 우주선의 길이수축 문제를 생각해 보자. 만약 우주선의 길이수축 현상이 공간의 수축을 포함한다면 수축된 부분만큼 공간의 결여(부재)가 발생할 것이기 때문이다.

그것은 광속에 가까운 속력으로 날아가는 우주선에서만 일어나는 현상이 아니다. 운동하는 모든 물질에서 미세하나마 발생하는 것이다. 즉, 지구상의 모든 물질과 우주를 떠도는 모든 것들에서 상시적으로 발생하게 된다.

그렇다면 우주공간에서 무수히 많은 공간의 수축과 결여가 부단히 진행되고 있다고 할 것이고 이러한 공간의 결여를 메우는 과정이 필요할 것이다. 이에 대해 상대성이론은 어떤 설명을 할 수 있을 것인가. 현재로서는 아무런 답도 가지고 있지 않은 것으로 보인다.

상대성이론이 직면하는 또 다른 문제는 공간 이동에 의한 공간의 결여와 중복이다. 전술한바 상대성이론은 물질의 운동이 좌표계의 운동이며 좌표계는 물질 뿐 아니라 공간을 포함하는 것으로 간주한다. 그런데 공간이 물질과 함께 이동한다면 - 물체가 점유한 공간이 물질과 함께 이동한다면 - 그 물질이 이전에 위치했던 공간에 있어서 공간의 결여 문제가 발생한다. 이러한 공간의 결여 문제는 공간의 수축에 의한 공간 결여보다 훨씬 더 큰 규모로 나타날 것이다. 예컨대 기차를 하나의 좌표계로 보고 기차내 공간이 기차라는 물질과 함께 이동하는 경우에 기차가 이동하는 구간에서 계속적으로 공간의 결여가 발생할 것이다.

공간의 중복문제는 공간의 결여와 동전의 앞뒤 면과 같은 문제이다. 물질과 함께 공간이 이동한다면 물질이 이제 막 진입한 공간에 있어서 공간의 중복이라는 문제가 일어나게 된다. 예컨대 우주선이 우주 공간을 날아가고 있다고 할 때 우주선이 내부 공간을 동반하여 운동하고 있다면 우주선이 막 진입한 공간과의 중복이 불가피할 것이다. 그것은 우주선 앞에 다른 물질(물체)이 있을 경우 물질 간 중복(혹은 충돌) 문제가 있는 것과 마찬가지이다.

아인슈타인은 중력에 의해 공간이 휜다고 말하는데 그것은 중력과 등가인 물질의 운동이 공간을 변형시킬 수 있음을 의미한다. 하지만 공간의 중복에 대해서는 어떤 언급도 하지 않았다. 공간은

공간 자체의 중복을 스스로 해소하는 어떤 기전을 가지고 있을까?

공간의 결여와 중복에 관한 사고실험은 물질이 공간과 함께 운동한다는 아인슈타인의 좌표계 개념(가설)이 모순에 봉착함을 보여준다. 이 문제를 해소하는 방법은 간단하다. 물질이 공간상에서 운동할 뿐 공간은 정지해 있다고 간주하는 것이다. 그것이 우리의 경험적 관찰과 인식에도 부합하는 것이다.

그런 점에서 물질의 길이수축도 물질 자체의 수축에 한정되고 공간에 영향을 미치지 않는다고 보는 것이 우주공간을 모순 없이 이해하는 방법이다. 좌표계 이동은 절대공간에 대한 물질의 관성운동(본 연구의 가설 4)으로 충분히 설명된다.

길이수축에 관한 이상의 사고실험들은 길이수축 현상이 물질에 한정된 것이며 공간은 수축되지 않음을 지적한다. 동시성 실험이나 마이컬슨-몰리 실험에 대한 분석은 기차나 우주선의 물질(물체)만 수축되고 공간은 수축하지 않는 것으로 가정할 때 실험결과와 합치된다. 만약 기차나 우주선 내 공간이 수축되고 빛의 속력이 공간의 수축에 대응하여 조정된다면 양 방향으로 날아간 빛은 c 의 속력으로 측정되지 않거나 동시에 돌아오지 못할 것이다.

우주선의 앞뒤 동체가 체인으로 연결되어 있을 때와 쇠막대로 연결된 경우의 사고실험 역시 물질의 운동에 의한 길이수축이 물질에 한정된 것임을 보여준다. 우주선의 앞 동체가 감속하여 우주선의 앞뒤 동체를 연결한 체인이 구부러지고 요동을 칠 경우, 체인을 구성하는 모든 원자들은 각기 다른 방향과 정도로 수축될 것이다. 이 경우 체인의 공간수축은 어떻게 될 것인가.

또 그 영향으로 우주선의 앞뒤 동체가 요동한다고 해보자. 우주선 내 모든 원자가 제각기 운동하고 있다고 할 것이며 모든 원자가 서로 상이한 수축을 보일 것이다. 이 경우 우주선 내 공간의 수축을 설명하는 것은 불가능하다. 더구나, 우주선 내에 물질이 존재하지 않는 공간이 존재한다면 그 공간이 어떤 기준(속도)에 의해 수축될지 그러한 수축이 어떻게 계속 변화될지 설명할 수 없다.

더하여 우주선과 함께 우주선 내부의 공간이 함께 이동한다는 개념의 모순을 공간의 결여와 중복이라는 관점에서 지적하였다. 그것은 우주선의 길이수축을 공간의 수축으로 간주하는 관점에도 적용된다. 공간이 물질과 함께 좌표계(관성계)를 구성하여 이동한다고 간주한다면 공간의 중복과 결여 문제는 피할 방법이 없을 것이다.

이상의 사고실험들과 분석은, 질량을 가진 물질이 형성하는 좌표계(관성계)가 물질들로만 구성되는 것임을 보여준다. 물질의 운동과정에서 형성되는 관성계 혹은 좌표계는 질량을 가진 물질들에 한정되며 공간 뿐 아니라 빛과 같은 전자기파와 중력에도 적용되지 않는 것이다. 그렇다면 물질의 운동에 의한 좌표계의 길이수축 역시 물질 자체에 제한되는 현상이 아닐 수 없다.

3.3 시간지연 : 시공간은 연속적인가?

아인슈타인이 제안한 상대성 원리(라는 가정)는 절대공간을 부정한다. 그는 상대공간에서는 시간지연 현상이 어떤 방향으로 움직이는 관성계나 반대방향으로 움직이는 관성계에서 모두 일어날 수 있다고 말한다. 결국 어느 관성계에서 실제로 시간 지연이 일어날지 알 수 없다는 것이다.

그러나 브라이언 그린은 ‘우주의 구조: 공간과 시간, 그 근원을 찾아서’에서 아인슈타인의 특수 상대성이론이나 일반상대성이론이 상정하는 공간은 절대시공간이라고 말한다. 아인슈타인 자신은 일반상대성이론의 공간이 마흐의 상대공간과 일치할 것이라고 기대했지만 일반상대성이론의 공간 역시 절대시공간이라는 것이다. 뉴턴의 회전하는 물통은 절대시공간에 대해 회전하며 우주공간에 물질이 전혀 없더라도 회전하는 물통에 담긴 물은 가운데가 오목해진다. 물통과 물은 절대시공간에 대해 회전하고 있다는 것이다.

그렇다면 우리는 뉴턴의 물통실험을 응용하여 이런 사고실험들을 해볼 수 있을 것이다.

사고실험 3-1 : 회전하는 물통에 부착된 시계(1)

뉴턴이 제안한 사고실험과 같이 무중력 공간에 커다란 빈 물통이 하나 있다. 물통의 상부에 막대를 설치하여 그 한 가운데와 가장자리에다 시계를 부착한다. 그리고 두 시계의 가운데 지점에 전등을 설치한다(그림 3-1 참조).

두 시계는 빛이 닿으면 광전효과에 의해 작동을 시작한다. 이제 전등을 켜서 시계가 작동하면 물통을 회전시킨다. 물통을 점점 더 빠른 속도로 회전시켜 물통의 회전속도가 고속에 이르게 한다. 그리고 나서 회전 속도를 낮추어 완전히 멈춘 후 두 시계를 전등이 있는 위치로 가져와서 비교해 보자.

물통의 가운데에 부착한 시계는 운동하지 않았고 어떤 힘도 받지 않았으므로 시계가 느려지지 않았을 것이다. 이에 대해 물통의 가장자리에 부착한 시계는 물통이 회전함에 따라 전방을 향한 관성운동과 함께 바깥쪽을 향한 원심력을 받았을 것이다. 특수일반상대성이론에 따르면 그것은 모두 시계의 진행을 지연시킬 것이다.

만약 우주공간에서의 물질의 운동이 단순히 상대운동이라면 시계의 시간지연 효과는 간단하지 않다. 물통이 회전하지 않고 우주가 반대방향으로 회전했다면 물통의 시계는 둘 다 시간지연이 일어나지 않아야 한다. 그리고 물통이 회전 운동을 한다고 하더라도 그 중심점을 물통의 가운데 잡지 않거나 물통 외곽의 시계를 운동의 중심으로 잡는 것도 가능하다. 이 경우 물통에 부착된 시계 중 어느 것이 얼마나 느려질지 단정할 수 없다.

하지만 그런 일은 일어나지 않는다. 실제로 우주의 무중력 공간에서 팽이 형태의 우주 실험실을 회전시키면 바깥쪽으로 갈수록 원심력이 커지며 중력과 동일한 가속력이 작용하는 것이다. 이는 무엇을 의미하는가? 공간상에서의 물질의 운동이 단순히 상대적이지 않다는 것이다.

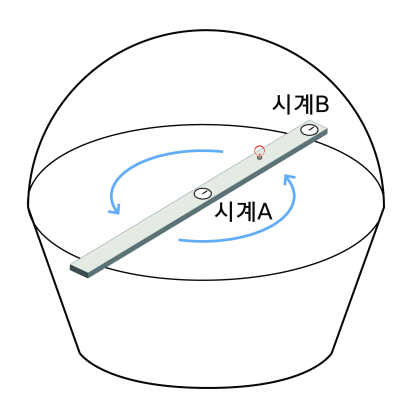
그리고 이 사고실험은 물질로서 시계의 진행속도가 느려졌으며 공간과 연계된 실체로서 시간

이 느려진 것이 아님을 함축한다. 이 사고실험에서 시계 A와 B는 물질로 구성된 것으로서 공간상에서 물질의 운동 속력이 빨라짐에 따라 시계 B를 구성하는 원자(물질)의 기초 진동(진동주기)이 느려진 것으로 볼 수 있다. 시계 B를 구성하는 모든 원자의 진동주기가 느려지면 시계 B의 시간진행도 느려질 것이다.

이에 대해 시공간 사이의 연속성이라는 관점에서 시계 B의 시간지연을 설명하는 것은 간단하지 않다. 시계 A가 한곳에 고정된 반면 시계 B가 계속해서 이동하고 있기 때문인데, 이동하는 물체에서 시공간을 연결하여 시간 지연을 설명하기 위해서는 시계라는 물체가 그 내부공간과 함께 이동하는 것으로 가정해야 한다.

그렇다면 공간이 물체의 운동에 동반될 수 있느냐는 문제가 기본적으로 대두되지만, 일단 이 본질적인 문제를 차치하고서라도 시계의 내부공간과 외부공간의 구분이 명확히 될 수 있느냐 하는 문제가 제기된다. 그것이 소형 시계든 벽걸이 시계든, 시계의 내부와 외부 경계는 명확하지 않을 수 있다. 예컨대, 시계의 덮개를 벗겨 버린다면 시계의 내부공간과 외부공간을 구분하기 어려울 것이다. 시계의 덮개를 벗겨서 내부 장치가 노출된 채로 같은 실험을 할 경우에도 시계의 시간지연효과는 동일하게 발생할 것인데, 여기서 시계와 함께 운동하는 공간을 획정하는 것은 불가능하다. 이는 운동하는 물체로서 시계의 시간지연이 시공간의 문제가 아니라 물질 자체의 성질임을 함의한다.

그림 3-1 회전하는 물통에 부착된 시계 실험(1)



사고실험 3-2 : 회전하는 물통에 부착된 시계(2)

회전하는 물통실험을 조금 더 변형하여 이번에는 물통에 긴 막대를 가로 질러보자. 막대는 물통을 가로질러 양편으로 길게 뻗어 있으며 한쪽 끝에 시계 A를 부착한다. 물통의 회전이 안정된 상태라면 물통과 막대, 시계의 궤적은 일정할 것이다. 이때 시계가 회전하는 궤적의 특정 지점을 잡아서 시계 B를 설치한다. 이 시계는 물통이 회전하여 막대가 돌아오면 시계 A와 부딪히겠지만 그 전까지는 한곳에 고정되어 있다.

이제 물통을 회전시켜 보자. 막대와 시계 A가 시계 B에 다가오기까지, 시계 B는 무중력 상태에서 고정되어 있기 때문에 아무런 시간지연 효과도 없이 작동하고 있을 것이다. 즉, 시계 B가 차지하

고 있는 공간에서는 시간지연이 일어나지 않는다.

시계 A가 시계 B에 부딪히려는 순간 시계 B를 제거한다. (예컨대 물통의 하단 방향으로 살짝 이동시킨다.) 그 직후 시계 A가 시계 B의 위치를 차지하게 될 것이다. 시계 A는 관성운동과 원심력을 받음으로 시계의 흐름이 느려져 있다. 말하자면, 시계 B가 있던 위치(공간)는 순간적으로 시간 흐름이 늦어진 것이다. 그리고 이 막대가 지나가면 시간 흐름이 원래 상태로 돌아온다.

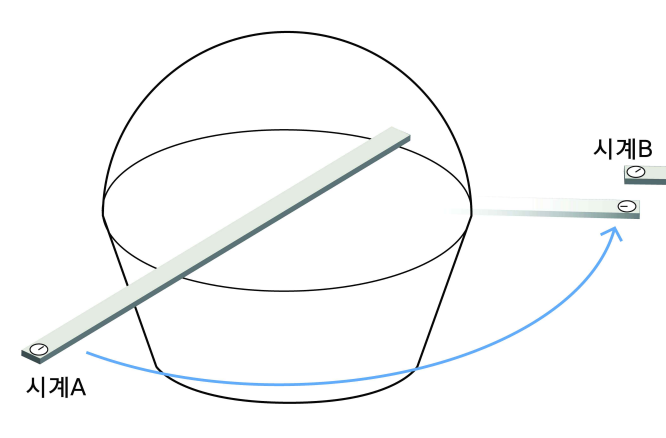
이 사고실험은 시계의 시간지연 효과는 공간이 아니라 물질에 의존하고 있음을 보여준다. 만약 시간이 시공간에 의존하거나 시간과 공간이 서로 연속되어 있다면 시계 A가 시계 B의 위치(공간)에 이르는 순간 시계 A의 시간 흐름이 시계 B의 그것에 맞추어졌어야 할 것이다. 그러나 실제로는 시계 B가 위치해 있던 공간은 시계 A가 다가오기 전까지는 시간지연이 나타나지 않았지만 시계 A가 그 자리를 차지하는 순간 시간 흐름이 늦어진다. 그리고 시계 A가 지나가는 순간 원래의 상태로 돌아오는 것이다. 이는 공간이 아닌 물질이 시간을 결정하고 있음을 의미한다.

물론, 이 문제에 대해 상대성 원리의 관점에서 반론이 있을 것이다. 시계 A가 하나의 좌표계를 형성하고 있으며 이 좌표계가 이동하고 있다는 주장이다. 그리고 이 좌표계는 물체 뿐 아니라 공간도 포함한다는 것이다. 그러나 이러한 논리는 두 가지 점에서 반박될 수 있다.

먼저, 회전하는 막대는 물통 중심으로부터의 거리에 따라 속력이 모두 다르기 때문에 하나의 관성계나 좌표계를 형성하지 못한다는 것이다. 막대 끝에 달린 소형 시계(B)도 시계의 모든 부분(원자들)의 속력이 다 다를 것이다. 어디서 어디까지가 하나의 좌표계일까?

그리고 운동하는 물체가 그 내부 공간과 함께 운동한다는 논리도 이해하기 힘든 부분이다. 우주의 모든 물체(물질)들은 공간상에서 조금씩이라도 운동하고 있다고 할 것인데, 물체가 내부공간과 함께 운동을 한다면 물체가 이동하고 난 곳은 공간이 비게 될 것이다. 그리고 물체가 새로 들어온 공간은 물체가 가진 공간과 기존 공간이 중첩되는 문제가 발생한다. 현대물리학, 특히 상대성이론은 공간을 단순히 비어있는 부재의 상태(라이프니츠 관점)로 보지 않고 고유한 특성을 가진 물리적 실체로 파악한다. 이 문제에 대해 상대공간론(상대성 원리)은 어떤 대답을 할 수 있을까?

그림 3-2 회전하는 물통에 부착된 시계 실험(2)



사고실험 3-3 : 소행성이나 운석에 부착된 시계

태양계에는 무수히 많은 행성, 소행성, 혜성, 먼지들이 떠돌아다니고 있다. 지구도 이 중 하나로 간주할 수도 있을 것이다. 지구에서의 시계 속도와 지구 공전 궤도상의 무중력 공간에서의 시간 흐름은 분명히 차이가 있다. 이는 인공위성의 시계를 통해서도 확인된다.

예를 들어 지구 궤도상의 특정 지점에 지구라는 물체가 들어서는 순간을 생각해 보자. 이 공간은 지구가 들어가기 전에는 무중력 공간으로서 시간지연을 거의 가지지 않았을 것이다. 그런데 지구가 들어서는 순간 시간 흐름이 급격히 바뀌어 시간지연 효과가 나타난다. 물론, 지구가 지나가면 다시 원래의 상태로 돌아갈 것이다. 여기에 지구의 중력효과까지 감안하면 지구가 이 공간을 지나가는 동안에도 시간흐름은 계속해서 변하게 된다. 이는 무엇을 의미하는 것일까? 시간지연의 독립변수가 어떤 위치의 공간이 아니라 물질 자체라는 사실이다. 지구상에서 시간지연효과는 일관성 있게 진행되지만 지구 궤도의 특정 공간에서는 시간 지연이 돌연히 발생하였다가 사라지는 것이다.

이번에는 태양계를 떠도는 소행성이나 운석에 작은 시계가 부착되어 있다고 가정해 보자. 이 시계는 이 물체들의 운동속도에 따라 시간 흐름이 거의 일정하게 유지될 것이다. 이에 대해 특정 위치의 공간은 그곳에 어떤 물체가 얼마의 속력으로 들어오느냐에 따라 시간 흐름이 달라질 것이다. 말하자면 소행성의 시계는 소행성이라는 물체와 연속적인 시간흐름을 가지는 반면 소행성이 지나간 경로의 공간과는 단절적인 시간 흐름을 보인다는 것이다.

이러한 사실은 공간이 아니라 물질 및 물질의 운동 및 중력 상태가 시간흐름과 직접 연관되어 있음을 말해준다. 적어도 시계의 작동을 중심으로 관측되는 시간 흐름은 물질에 의존한다. 물질의 공간상 운동과 물질의 중력 작용이 시계의 움직임을 지배하는 것이다. 시계의 진행속도가 그것을 구성하는 물질들의 기본진동에 의해 결정된다고 한다면 물질의 기본 진동은 물질 자체의 상태로부터 직접적으로 영향을 받는 것이다.

사고실험 3-4 : 요동하는 우주선의 시간지연

진공의 무중력 공간을 날아가는 우주선이 있다고 해보자. 이 우주선은 동력장치를 끄고 등속운동을 하고 있지만 우주선 자체가 조금씩 떨리고 있다. 엄밀히 본다면 우주를 날아가는 우주선이든, 철로 위를 달리는 기차든, 그것들이 등속운동을 하더라도 약간씩 떨림이 있을 것이다.

이러한 떨림은 극히 미세하더라도 우주선의 개별 원자들의 운동에 영향을 미칠 것이고 개별 원자들의 운동은 방향이나 속도 등에서 모두 다를 것이다. 그 결과 각 원자들의 시간지연도 조금씩 달라질 것이다. 그렇다면 우주선의 모든 원자들이 각기 다른 시간흐름을 가지게 될 것인데, 그것도 원자들의 진동(요동)에 따라 지속적으로 시간 속도의 변화가 수반될 것으로 볼 수 있다.

한편으로 우주선 내 공간을 들여다보자. 우주선 내에는 사람들이 숨을 쉬고 움직이면서 먼지나 공기 분자들이 떠돌고 있을 것이다. 이것들은 우주선과 함께 날아가고 있지만 한편으로 제각기 움직이고 있어서 정확히 동일한 운동을 하고 있는 것은 아니다. 우주선 내 공기분자나 먼지들의 운동은 그것들의 시간지연을 조금씩 차별적으로 만든다. 즉, 우주선 내 모든 물질은 각기 다른 운동과 다른

시간 흐름을 갖는다는 것이다.

나아가 일반상대성이론에 의하면 모든 물질은 중력을 가지며 중력의 정도에 따라서 시간 흐름이 다르게 된다. 중력이 조금이라도 강한 곳에서는 시간이 느리게 진행되는 것이다. 그렇다면 우주선 내에서도 그 위치에 따라서 중력이 모두 차이가 있으므로 시간도 다르게 진행될 것이다. 우주선의 앞부분과 뒷부분 그리고 가운데 부분이 다를 것이며 가운데서도 중심부와 외곽이 또 다를 것이다. 이러한 중력의 미세한 차이가 시간 흐름에 영향을 준다면, 설령 우주선이 등속운동을 한다고 하더라도 우주선 내 모든 원자의 시간 흐름은 다를 것으로 간주할 수 있다. 즉, 우주선 내 어떤 위치도 동일하게 시간이 진행되지 않는다는 것이다. 만약, 여기에 우주선의 진동효과가 더해진다면 우주선의 모든 원자들이 각기 다른 시간 진행을 가질 뿐 아니라 지속적으로 시간 속도의 변화를 수반할 것이다.

이러한 사실들은 물질의 운동에 의한 시간지연이 개별 물질의 자체 진동의 변화에 의한 것이며 좌표계(관성계) 내의 공간과 연관하여 해석될 여지가 없음을 보여준다. 왜냐하면 물질의 운동이 개별 원자 수준에서 모두 다르다면 시간지연도 개별 원자에 의존할 것이기 때문이다. 예컨대, 우주선 내 공간이 물질로 완전히 채워져 있다면 모든 물질(원자)의 시간이 제각기 진행될 것이며 결국 좌표계는 개별 물질 수준에서 형성될 것이다. 그렇다면 시간은 공간이 아니라 물질에 의존하는 것으로 보아야 한다.

또 우주선 내 공간이 물질로 완전히 채워져 있지 않은 경우에도 유사한 문제가 발생한다. 개별 원자가 각기 좌표계를 형성하고 시간흐름과 길이수축, 질량증가가 제각기 상이한 상황에서는 우주선 내에서 물질이 존재하지 않는 빈 공간은 좌표계를 형성하지 못하며 좌표계의 일부도 될 수 없다. 그 결과 빈 공간의 운동 및 시간 속도가 확정될 수 없는 것이다. (사실 우리가 살아가고 있는 지구도 물질이 완전히 채우고 있는 것은 아닌데) 물질이 차지하지 않은 빈 공간의 시간지연 비율이 정해지지 않는다면 결국 시간의 흐름이 공간이 아닌 물질에 의존하는 것으로 보지 않을 수 없다.

종합컨대, 시간지연과 관련된 위의 사고실험들은 시간과 공간 그리고 물질 간의 관계에 대해 명확한 함의를 제공한다. 시간이 느려지는 것은 (시계를 포함한) 물질 자체가 가지는 특성에 기인하며 시간과 공간 사이에 직접적인 관련성이 없다는 것이다.

만약 시간과 공간이 직접적으로 연계되어 있고 상호 연속적이라면 길이수축과 시간지연 간에 상호작용이 존재해야 할 것이다. 그러나 운동하는 물체는 시간지연을 일으키지만 시간지연은 물질이 속한 관성계(공간을 포함하는 좌표계)나 그 반대편 관성계와 관계가 없다. 더구나, 앞의 사고실험들에서 살펴본바 물질의 운동은 물질 자체의 길이를 수축시킬 뿐 공간(을 포함하는 좌표계)에 어떠한 영향도 미치지 못한다. 공간은 물질의 운동에 반응하지 않는다. 결국 시간과 공간은 상호 작용하지 않으며 시간지연과 길이수축은 각기 물체(물질)의 상태 변화에 대한 현상적 표현에 불과한 것이다.

4. 실험 및 관측 결과의 검토

4.1 특수상대성이론과 관련된 실험 및 관측의 검토

특수·일반상대성이론이 발표된 지 100여년이 지났고 그간 상대성이론 관련 실험들과 관측들이 다양하게 수행되었다. 이러한 실험과 관측은 상대성이론을 모색하는 과정에서도 검토되었지만 이 이론이 발표된 이후부터는 본격적으로 전개되었다. 특히 아인슈타인 사후에는 그 이전에는 생각할 수 없을 만큼 실험, 관측 장비들이 발전되어 상대성이론을 거듭 검증해오고 있다.

그렇다면 우리가 앞에서 제시하고 논의한 사고실험들과 분석결과는 어떻게 되는 것일까? 우리가 제안한 각종의 사고실험과 분석에 무언가 오류가 있었던 것일까? 아마 대부분의 전문가들이 이토록 명백하게 입증된 현대 과학의 금자탑에 의심을 품는 것에 대해 연민이나 불쾌감을 느낄 것이다. 그러나 앞에서 우리가 제기한 다양한 문제들은 간단히 넘어갈 수 있는 것이 아니다.

여기서, 다시 상기할 점이 있는데 이 연구는 아인슈타인의 특수, 일반상대성이론의 방정식을 의심하거나 부정하는 것이 아니며 오히려 적극 지지한다는 사실이다. 이 연구의 가설 4, 가설 5, 가설 6, 가설 7은 상대성이론의 방정식을 기초로 한 것이다. 또, 앞의 사고실험들은 모두 이러한 가설들을 수용하고 그것에 입각하여 전개되었다.

말하자면 이 연구는 상대성이론을 부정하는 것이 아니라 그것의 가정과 해석을 수정하려는 것이다. 즉, 아인슈타인이 제안한 가정인 상대성원리(상대공간)에 대해 뉴턴의 절대공간 개념을 제시하고 빛의 상대운동 속도가 c 로 일정하다는 광속불변 가정에 대해 절대공간에 대한 빛의 속도가 c 로 일정하다는 가설을 제안한 것이다. 더하여 물질의 운동과 중력에 의해 시공간이 변화되는 것이 아니라 물질의 진동이 느려지고 물질의 길이가 수축될 뿐이며 그럼으로 시공간은 하나의 연속체가 아님을 지적한 것이다.

이하에서는 먼저, 특수상대성이론과 관련된 여러 실험 및 관측들을 살펴볼 것이다. 그것들은 흥미롭게도 본 연구의 가설 및 사고실험 결과와 거의 상충되지 않는다. 오히려 본 연구의 관점에서 그간의 실험 및 관측결과들을 해석할 때 보다 명료하거나 타당한 설명이 가능하다고 판단된다. 예컨대, 원자시계를 실은 제트기 실험은 본 연구 가설에 훨씬 잘 부합한다.

실제 실험 및 관측 1-1 : 마이컬슨·몰리실험의 실제성

마이컬슨·몰리실험은 고전역학을 넘어서 로렌츠변환과 상대성이론이 나오게 된 직접적인 배경이 되었다. 19세기 말에 처음 시도된 이 실험은 이후 수차례 걸쳐 반복적으로 수행되었으며 오늘날에도 동일한 결과를 검증하고 있다. 사실 이 실험은 빛의 매질로서 에테르를 검출하려는 의도에서 출발한 것이지만, 결과적으로 에테르의 존재를 부정하고 빛의 속력이 어떤 상황에서도 일정하게 측정된다는 미스터리를 남긴 것이다.

이 실험은 비유하자면 지구라는 우주선에 마이컬슨·몰리간섭계를 싣고서 빛의 속도를 측정한 실험이라고 할 수 있다. 그 결과는 전술한 바와 같이 빛의 상대속도가 항상 c 로 측정된다는 것인데,

이를 해석하는 과정에서 우주공간에서 운동하는 물체에 있어서 길이수축과 시간지연, 질량증가가 일어난다는 통찰에 이르게 된다. 그러한 변화의 비율이 로렌츠변환이다.

여기서 유의할 점은 이러한 현상이 단순히 외부에서 볼 때 그러한 것이 아니고 실제로 일어난다는 사실이다. 다만 운동하고 있는 좌표계에 있는 사람이 그러한 변화를 알아차리지 못할 뿐이다. 왜냐하면 좌표계 내 모든 것들이 함께 변하기 때문이다(사고실험 1-4, 사고실험 2-2, 사고실험 2-3, 사고실험 2-4 참조).

만약 마이컬슨·몰리 간섭계를 포함한 지구가 실제로 운동방향으로 수축되지 않고 시간이 늦어지지 않는다면, 즉 그런 현상이 지구 밖에서 볼 때의 겉보기 효과에 불과하다면 지구상에서 빛은 c 라는 속도로 측정될 수 없다. 빛의 상대 속도는 c 보다 느려질 것이며, 특히 어느 한 방향에서가 아니라 모든 방향에서 빛의 속도가 일정하게 유지되는 것은 불가능할 것이다(사고실험 2-2 참조).

이러한 것은 아인슈타인이 제안한 동시성 실험에도 적용된다. (동시성 실험은 실제 실험은 아니지만 아인슈타인이 제안하여 실제 실험에 준하는 권위를 부여받고 있다.) 동시성 실험에서는 달리는 기차 내부에서의 빛의 왕복 운동을 상정하고 있는데 빛이 운동관성의 영향을 받지 않는다고 할 때 빛의 왕복 이동거리는 기차가 달리고 있을 때 늘어나게 된다. 그럼에도 기차에 타고 있는 사람에게 빛의 왕복운동 시간이 기차가 정지해 있을 때와 동일하게 관측되는 것은 기차가 운동 상태에서 길이수축과 시간지연을 일으키기 때문이다. 실제로 길이수축과 시간지연이 발생하는 것 외에 마이컬슨·몰리실험과 동시성실험을 설명할 방법은 없다(사고실험 2-1 참조).

결론적으로, 이 실험들은 본 연구의 가설과 부합하며 본 연구의 관점에서 충분히 설명된다. 하지만 상대성원리의 관점 혹은 아인슈타인의 시공간론의 관점과는 충돌한다고 판단된다. 만약, 운동하는 물체(혹은 좌표계)에 있어서 이러한 길이수축, 시간지연, 질량증가 현상이 실제로 나타난다면 상대편 좌표계에서 동일한 현상이 일어나는 일은 있을 수 없기 때문이다.

실제 실험 및 관측 1-2 : 뮤온의 입자붕괴

특수상대성이론은 광속에 가까운 속력과 극히 짧은 시간에 관측될 수 있는 현상을 다루고 있어서 직접적인 관측이나 실험이 어려운 문제이다. 그런 점에서 뮤온의 수명(입자 붕괴)에 대한 관측 결과는 특수상대성이론에 대한 최초의 경험적 검증으로서 인정되고 있다.

뮤온입자는 지구 밖에서 날아온 우주선(宇宙線)이 지구의 수백 내지 수십 km 상공에서 공기 분자와 충돌하여 만들어진 것이다. 뮤온입자의 수명은 약 2.2ms에 불과한데 뮤온입자가 지표면에 도달하기 위해서는 최소한 200ms가 필요하다. 그래서 이론적으로 뮤온입자가 지표면에 도달하는 것은 불가능하지만 뮤온입자는 지상에서 관측되는 것이다. 학자들은 이 현상을 설명하는 과정에서, 준광속으로 날아가는 뮤온에 있어서 시간지연 효과가 작용한 것으로 해석하고 있다. 여기까지는 특수상대성이론의 방정식이나 필자가 제시한 가설이 모두 동의하는 부분이다.

그런데 상대론자들은 상대성 원리의 관점에서 뮤온수명 문제를 확장한다. 즉, 뮤온의 입장에서 뮤온의 준광속운동이 시간지연을 일으켜 뮤온의 수명이 늘어난 것이 아니라 뮤온의 외부세계가

반대로 운동하면서 길이(거리)수축을 일으켜서 뮤온이 지상에 도달할 수 있게 된 것으로 볼 수 있다는 것이다. 우주공간에서의 모든 운동이 상대적이라는 관점에 선다면 이는 당연한 설명이다.

그러나 문제는 그리 간단하지 않다. 준광속으로 날아가는 뮤온은 시간지연 뿐 아니라 길이수축을 일으키는데 그와 마찬가지로 뮤온의 외부세계가 반대로 운동하는 경우에 있어서도 길이수축과 함께 시간지연이 일어나야 하는 것이다. 다시 말해 뮤온이 정지해 있고 지구를 포함한 나머지 세계가 뮤온의 반대방향으로 운동하는 경우 뮤온의 외부세계는 길이수축과 함께 시간지연 효과를 일으킴으로 두 요소를 함께 고려해야 한다는 것이다. 그런데 외부세계의 길이수축은 뮤온이 지상에 닿는데 도움을 주지만 외부세계의 시간지연은 뮤온의 수명을 더욱 단축시키는 효과를 가져 온다. 결국 뮤온 외부세계의 시간지연은 뮤온이 지상에 닿지 못하게 하는 요인으로 작용할 것이며, 이 두 가지 효과가 서로 상쇄되어 버린다면 뮤온은 지상에 도달하지 못할 것이다.

그간 뮤온의 수명과 지상도달 문제에 상대성 원리를 적용하면서 지구 및 우주의 길이수축과 함께 시간지연 측면을 고려하지 않은 것은 미스터리한 일이다. 이 관측 결과는 특수상대성이론의 타당성을 검증하지만 상대성원리를 부정하는 것으로 볼 수 있다.

실제 실험 및 관측 1-3 : 제트기를 활용한 원자시계 실험

특수상대성 이론의 시간지연을 입증한 대표적인 실험으로는 1971년에 미국 물리학자인 헤이펠과 키팅의 원자시계 실험을 들 수 있다. 이들은 원자시계를 제트기에 실어서 지구를 돌게 한 후 지상의 원자시계와 비교하는 실험을 시행하였다. 흔히 이 실험결과 제트기에 실린 시계가 느려진 것으로 알려져 있지만 사실은 실험결과가 좀 더 복잡하다.

이들은 원자시계 3개를 준비하여 그 한 개를 동쪽으로 날아가서 제자리에 돌아오는 제트기에 싣고 다른 하나는 서쪽으로 날아서 돌아오는 제트기에 싣었으며 나머지 한 개는 지상에 그대로 두었다. 그 결과 동쪽으로 날아간 제트기에 실린 시계가 59/10억 초 느려진 반면 서쪽으로 날아간 제트기에 실린 시계는 273/10억 초 빨라진 것이다. 물론 지상의 원자시계에 비교해서 그러하다는 것이다.

상대성이론의 관점에서 제트기에 실린 두 시계가 지상의 시계에 비해 빠르거나 느려진 것은 타당한 결과이다. 왜냐하면 제트기가 날아가는 동안 운동에 따른 시간지연이 발생하고 공중에 떠 있는 과정에서 지구의 중력이 낮아져서 시간이 빨라진 것으로 볼 수 있기 때문이다. 그런데 동쪽으로 날아간 비행기의 시계와 서쪽으로 날아간 비행기의 시계가 서로 시간 차이가 나는 이유는 무엇일까?

상대성원리에 의하면 지구를 어느 방향으로 돌더라도 운동이 상대적이라고 볼 수 있다. 그런데 동쪽으로 돌아온 제트기의 시계는 느려지고 서쪽으로 돌아온 제트기의 시계는 빨라진 것이다.

이에 대해 본 연구의 관점은 간명한 설명을 가능하게 한다. 절대공간의 관점에서 보면 양쪽으로 날아간 시계의 속력이 달라질 수밖에 없다. 이 문제를 보다 간단하게 이해하기 위해 양 방향으로 날아간 제트기가 24시간 만에 지구를 한 바퀴 돌았다고 가정해보자. (당시 제트기의 속력은 대략 이런 정도였다.) 주지하듯이 지구는 공전과 함께 자전운동을 한다. 이때 자전운동은 당연히 지구상의 물질

들의 진동주기에 영향을 주어 시간을 느리게 만들 것이다. 지구는 서에서 동으로 회전하는데 제트기가 서에서 동으로 돌아서 24시간 만에 제자리로 돌아오기 위해서는 지구의 자전속도보다 2배로 날아가야 한다. 즉, 절대공간의 관점에서 보면 제트기는 24시간 동안 지구 둘레를 2바퀴 돌았던 것이다. 따라서 높은 운동속력이 시간흐름을 늦춘 것이며 지구상의 원자시계보다 느리게 움직이는 것이 당연하다.

이에 대해 서쪽으로 날아간 제트기에 실린 원자시계의 경우는 어떨까? 만약 24시간 만에 제트기가 제자리로 돌아왔다고 한다면 절대공간의 관점에서 이 제트기는 지구의 상공에 떠서 정지해 있었던 것이 된다. 지구만 반대방향으로 한 바퀴 돈 것이다. 즉, 지구상의 시계가 더 빠른 속력으로 운동을 한 것이고 제트기의 시계는 더 느리게 운동한 것이다. 결국, 서쪽으로 날아간 제트기의 시계가 더 빨라진 이유는 절대공간에 대한 절대운동으로 설명될 수 있다.

종합컨대, 세 원자시계의 시간이 각기 달라진 것은 절대공간의 관점에서 간명하게 설명이 가능하다. 절대공간 상에서의 운동속력이 세 시계의 진행속도에 영향을 준 것이다. (그러면 서쪽으로 날아간 제트기의 원자시계가 빨라진 시간(59/10억초)보다 동쪽으로 날아간 원자시계가 느려진 시간(273/10억초)이 짧은 것은 무슨 이유일까? 제트기의 가속이나 감속 등 여러 요인들이 작용했겠지만, 무엇보다도 제트기의 고도에서는 지구의 중력이 약해지기 때문에 시계의 흐름이 빨라진 것이다.)

실제 실험 및 관측 1-4 : 인공위성과 GPS

오늘날 휴대폰이나 자동차 네비게이션은 인공위성의 GPS(위치정보시스템)를 활용한다. 그런데 인공위성(GPS)의 시계는 지상의 시계보다 근소하나마 빨리 가기 때문에 시간을 보정해 주어야 한다.

여기에는 두 가지 효과가 동시에 작용한다. 하나는 인공위성의 운동에 따른 시간지연 효과이고 다른 것은 인공위성이 지구로부터 멀리 떨어져 있기 때문에 중력이 약화되어 나타나는 시간지연 감소효과이다. 이 두 효과가 합성되어 결국 인공위성의 시계가 지상에서보다 하루에 38ms 만큼 빨라지는 것이다. 이는 상대성이론이 현대공학과 우리의 일상생활에 직접 활용되는 사례이며 특수·일반 상대성이론의 타당성을 입증하는 것이다.

여기서 우리는 이런 질문을 던져볼 수 있다. 상대성원리의 관점에서 인공위성의 운동으로 인한 시간지연 효과를 어떻게 설명할 것인가? 상대성원리에 따르면 인공위성의 운동과 지구의 운동은 상대적일 뿐이다. 지구에서 보면 인공위성이 지구를 돌고 있지만 인공위성에서 보면 지구가 인공위성을 돌고 있을 것이다. 그러면 인공위성에서 볼 때 지구는 중력도 강하고 운동속도도 인공위성보다 빨라서 지구의 시계가 보다 더 느려져야 한다.

그러나 인공위성의 시계와 지구의 시계는, 지구에서 인공위성을 볼 때나 인공위성에서 지구를 볼 때 동일하게 진행된다. 즉, 어느 쪽에서 보나 인공위성의 시계가 매일 38ms 만큼 빨라지는 것이다. 이는 상대성이론의 방정식이 정확하지만 상대성원리가 작용하지 않음을 의미한다. (이 문제에 대해서는 사고실험 1-6와 사고실험 1-7에서 보다 자세히 설명하였으므로 이 사고실험들을 참조할 것)

4.2 일반상대성이론과 관련된 실험 및 관측의 검토

아인슈타인의 특수상대성이론은 1905년에 발표되었고 10년 후에 일반상대성이론이 제출되었지만 특수·일반상대성이론 중에 먼저 검증된 것은 일반상대성이론이었다. 일반상대성이론이 발표되었을 당시 이 이론이 너무나 난해하고 파격적이어서 학계에서 이론적으로는 거의 수용되지 않았다. 하지만 다행히도 실험적으로 검증하려는 노력은 지속되었다. 대표적인 것이 에딩턴의 태양 주위에서의 별의 위치이동에 대한 관측이었으며 이후에도 다양한 실험과 관측들이 이어졌다. 특히, 최근에는 자이로스코프실험, 중력파검출 등 놀랄만한 성과들이 있었고, 이 모든 것들은 아인슈타인의 상대성 이론이 얼마나 정확한지를 확인시켜준다.

그러나 이러한 실험과 관측결과가 아인슈타인이 설명하듯이 시공간의 연속성을 검증하는 것일까? 우리는 앞의 사고실험 등을 통해 물질의 운동과 중력이 공간에 영향을 미치지 못하는 반면 시간의 흐름에 직접적으로 영향을 미친다는 점을 규명한 바 있다. 즉, 공간과 시간은 별개로 존재하며 작용한다는 것이다.

이러한 관점에서 일반상대성이론과 관련된 그간의 실험과 관측들을 검토해본다. 일반상대성이론은 물질과 시공간의 상호 연속성을 의미하며 그것들이 실제 실험과 관측을 통해 밝혀진 것인가.

실제 실험 및 관측 2-1 : 수성의 근일점 이동

수성의 근일점은 수성이 태양과 가장 가까운 점을 말한다. 뉴턴의 중력방정식에 따르면 수성의 근일점은 100년에 약 5567각초 이동하는 것으로 계산되지만 실제 수성의 근일점은 100년에 약 5600각초 이동한다. 이 43각초의 차이를 설명하기 위해 각종의 아이디어들이 제출되었으나 결국 아인슈타인의 일반상대성이론이 이를 해명해냈다. 사실 아인슈타인은 일반상대성이론을 개발하는 과정에서 수성의 근일점 이동 문제를 알고 있었고, 일반상대성 모형이 이 문제를 정확히 해결할 수 있음을 확인하고서 자신의 이론에 대해 확신을 가졌다고 한다.

수성의 근일점 문제를 일반상대성이론이 해명했다는 사실은 이 방정식의 첫 번째 성과라고 할 수 있다. 그러나 그러한 성과가 수성이 태양이 구부려 놓은 시공간을 따라 운동한다는 것을 증명하지는 못한다. 사실 특수상대성 이론의 방정식이 뉴턴역학을 개량한 것이듯 일반상대성이론은 뉴턴의 중력모델을 보다 정교화한 것으로 볼 수 있다.

일반상대성이론의 방정식이 검증되었다고 뉴턴의 절대공간론이 부정된 것인지는 불확실하다. 이 두 가지는 서로 별개의 문제일 수도 있는데, 일반상대성이론은 뉴턴의 중력방정식을 개량한 것이지만 뉴턴의 중력방정식이 절대공간의 존재를 입증한 것이 아니기 때문이다.

뉴턴이 절대공간을 입증한 것은 우주공간에서의 물통실험이라는 사고실험을 통해서였다. 그런데 현대 물리학은 여전히 회전하는 물통 속의 물이 원심력을 받는 것으로 결론을 내리고 있다. 뉴턴의 절대공간론을 완전히 부정하지 못하고 있는 것이다. 대신에 상대성이론의 관점에서 뉴턴의 물통이 절대시공간에 대해 회전하고 있다고 말한다.

실제 실험 및 관측 2-2 : 태양 주위에서의 별빛의 휨

아인슈타인은 일반상대성이론의 방정식을 활용하여 태양 주위에서 별빛이 휘며 이는 개기일식 때 관측이 가능할 것이라고 주장한 바 있었다. 1919년에 에딩턴을 중심으로 한 영국 조사팀은 아프리카와 남미에서 개기일식 시 별빛이 휘는 각도를 관측하였고 일반상대성이론의 방정식과 예측이 옳았다고 공표하였다.

이를 계기로 아인슈타인은 일약 유명 학자가 되었고 상대성이론은 뉴턴 역학을 대체하여 정상과학의 자리를 차지하였다. 나아가 아인슈타인이 내놓은 특수상대성 이론의 두 가지 가정과, 상대성 이론의 방정식에 대한 과감한 해석들도 과학계의 정설로 받아들여졌다. 그는 특수상대성이론을 발표하면서 상대성원리와 광속불변 가정을 제안하였는데 그것들이 과학계의 공리로 인정되었고, 시간지연과 함께 제안된 공간수축 가설도 전폭적으로 수용되었다. 시간과 공간이 서로 연속된 4차원 시공간이라는, 경험적으로는 전혀 이해되는 않는 논리가 뉴턴의 절대공간, 시간 개념을 대체한 것이다.

오늘날 많은 학자들과 과학도들은 태양 주위에서 별빛이 휨 관측 결과를 들어 중력에 의한 공간의 휨 혹은 비틀림이 증명된 것으로 받아들이고 있다. 그러나 별빛이 태양 주위에서 휘었다는 사실이 공간이 휘었음을 입증하는 것일까?

놀랍게도, 절대공간을 주창한 뉴턴의 중력방정식으로도 태양 주위에서 빛이 휨다는 것이 도출된다. 그런데 이 사실을 알고 있는 학자들은 의외로 드물다. 공간이 휘지 않더라도 항성의 중력이 별빛을 끌어당겨서 휘게 만들 수 있는 것이다. 다만 일반상대성이론의 방정식이 뉴턴의 중력모형보다 더 정확히 예측했을 뿐이다. 뉴턴의 중력장방정식에서 도출된 태양 주위에서 별빛이 휘는 각도는 0.875초인데 아인슈타인은 정확히 그 두 배인 1.75초를 계산해낸 것이다. 일반상대성이론은 뉴턴의 중력모형을 기본으로 하여 그것을 보다 정밀하게 보정한 것으로 볼 수 있다.

이 관측결과가 일반상대성이론을 검증한 것은 사실이지만 물질의 운동과 중력에 의한 시공간의 왜곡과 변형이라는 아인슈타인의 해석(가설)을 결정적으로 뒷받침하는 것은 아니다.

실제 실험 및 관측 2-3 : 지구 중력에 의한 시간지연 측정

세슘 원자시계의 발명으로 시간측정이 고도로 정밀해지면서, 지구 중력의 차이가 시간의 흐름에 얼마나 영향을 미치는지 실제로 측정할 수 있게 되었다. 지표로부터 30cm 차이와 함께 암석의 분포가 시계의 진행을 빠르게 하거나 느리게 만든다는 것이 확인되었으며 일반상대성이론의 예측이 정확하다는 사실이 밝혀졌다. (전술한 인공위성에서의 시계보정도 그러한 사례 중 하나이다.)

물질의 가속도운동과 중력이 시간지연, 길이수축, 질량증가를 일으킨다는 사실은, 일반상대성이론이 밝혀낸 20세기 최고의 과학적 업적 중 하나임에 틀림없다. 그러나 이 사실이 시공간의 연속성을 입증하고 물질의 가속도운동과 중력이 시공간을 변형시키는지를 규명한 것은 아니다.

시간지연 현상에 대해 일반상대성이론이 제시하는 바는 우주상의 모든 물질의 존재와 공간상의 분포, 그리고 운동이 시간의 흐름에 영향을 미친다는 것이다. 예컨대 고층아파트의 3층에 있는 시계

는 4층의 시계보다 시간이 느리게 가겠지만, 보다 정밀하게 측정할 수 있다면 아파트 각층의 가구배치나 사람의 이동 따위로부터 영향을 받을 것이다.

이 사실이 의미하는 바는 분명하다. 말하자면 공기분자를 포함한 지구상의 모든 물질(원자)의 시간 흐름이 다르다는 것이다. 공기 중에 떠도는 어떤 산소 분자의 시간 흐름은 그것의 고도와 위치에 따라서 지속적으로 달라지며 여타의 공기분자들도 그럴 것이다.

이는 시간의 흐름이 공간에 연계되어 있지 않고 물질에 연관(내재)되어 있음을 함의한다. 시간이 산소분자 혹은 원자의 위치와 운동 상태에 따라 각 원자별로 달리 결정되며, 특정 위치나 공간에 의해 정해지지 않는다는 사실이다. 더구나 시간의 흐름이 실제로 나타나는 것도 시계의 진행이나 사람의 노화와 같은 물질적 흐름을 통해서이다.

결국, 시간흐름에 대한 보다 정밀한 관측은 시간흐름이 개별 물질에 수반되어 일어난다는 사실을 드러내며, 시공간의 연속성이라는 개념을 오히려 위협하는 것이다(사고실험 3-4 참고)

실제 실험 및 관측 2-4 : 중력적색편이

일반상대성이론을 지지하는 또 하나의 관측결과가 중력적색편이 현상이다. 중력적색편이란 별빛이 중력이 매우 큰 천체 근처를 지나면서 적색편이를 일으키는 것으로서, 강한 중력장에서 시간이 느려지기 때문에 (혹은 중력장에서 빠져나오면서 빛이 에너지를 잃기 때문에) 빛의 파장이 길어지는 현상으로 설명된다. 만약 중력에 의한 시간지연현상을 시공간 연속체의 변형이라는 관점이 아니라 물질의 진동수 변화라는 측면에서 해석한다면, 중력적색편이는 시공간 왜곡으로부터 설명되기 보다는 물질로서 빛(광자)이 중력의 영향을 받는 것으로 볼 수 있다.

태양 부근을 지나는 전자기파가 느려지는 것도 중력적색편이와 거의 동일한 논리로 이해된다. 태양 부근을 지나는 전자기파가 느려지는 것은 빛이 항성 인근에서 느려지는 것과 동일한 효과인데 빛이 전자기파의 일종이기 때문이다. 이와 관련해서 다양한 실험들이 있었는데, 2003년에는 카시니 탐사선을 이용하여 정밀한 실험이 진행되었다. 이 실험의 결과는 0.002%의 오차범위 내에서 일반상대성이론과 일치하였다. 전술한바, 이 결과가 시공간 연속체라는 해석을 뒷받침한다고 보는 것은 논리적으로 비약이 있다고 할 것이다.

실제 실험 및 관측 2-5 : 자이로스코프 실험

중력 측정 위성-B(Gravity Probe B, GP-B를 활용한 자이로스코프 실험은 지상의 공간이 지구 중력의 영향을 받아서 휘어져 있음을 검증한 것으로 주목을 받았다. 이 실험 역시 일반상대성이론의 정확성을 확인한 현대 물리학의 업적이 아닐 수 없지만, 일반상대성이론의 방정식의 타당성과 그것을 시공간의 변형으로 해석하는 것은 다소 별개의 문제라고 생각된다. 자이로스코프 실험이 중력장에 관한 일반상대성이론의 공식이 얼마나 정확한지 보여주었다고 하더라도 시공간의 뒤틀림을 확인한 것으로 간주하는 것은 실험 결과를 넘어선 해석이라고 할 것이다.

무엇보다도 중력장 개념이 뉴턴의 중력모형에서도 도출될 수 있듯이 지구의 중력이 자이로스코프의 운동에 영향을 미친다는 사실은 반드시 시공간의 변형에 의해서만 가능한 것일까 하는 의문이 제기될 수 있다. 더구나 이 해석에는 시공간의 휨이나 왜곡의 형태가 구체적으로 설명되지 않았다는 점도 주목할 필요가 있다. 흔히 태양과 행성의 주위에서 시공간의 그물이 휘는 비유를 들고 있는데 그렇다면 자이로스코프의 회전축이 움직이는 것은 어떤 시공간 그물의 뒤틀림으로 설명될 수 있을까? 그리고 이들 사이의 상호작용이 낳은 시공간 그물의 형태는 어떤 것인가에 대해 여전히 답이 없는 것이다.

나아가 시공간의 휨이라는 개념과 거리에 제곱에 반비례하여 약화되는 중력의 성질이 상합할 수 있는 것인지에 대한 의문도 남아있다. 이론적으로 보자면 태양이나 지구의 중력은 거리에 따라서 급격히 약화되긴 하지만 우주 끝까지 미치게 된다. 그런데 우주에는 태양과 같은 항성이 셀 수 없이 많으며 태양보다 중력이 훨씬 큰 블랙홀도 무수하게 존재한다. 그렇다면 우주의 시공간은 수많은 중력의 영향으로 휘고 비틀려 있을 것이다. 더구나 이러한 천체들은 순간마다 질량이나 운동이 변화됨으로 그에 따라서 시공간의 교직이 미세하게나마 지속적으로 변형되어야 한다.

전자기력을 고려하면, 중력장과 시공간의 휨 문제는 좀 더 복잡한 의문으로 연결될 수 있다. 시공간이 중력에 의해서 휘다면 전자기력에 의해서도 휘어야 하지 않을까 하는 문제가 그것이다. 현대 물리학자들이 사과가 지구 표면으로 낙하하는 것은 중력의 작용이라기보다는 공간이 휘어 있기 때문이라고 설명하는데 그렇다면 전자기력 역시 공간을 휘게 해서 물질(물체)을 끌어당기고 있을 것이다. 그런데 흥미로운 점은 중력이 질량을 가진 (혹은 질량을 가지지 않은) 모든 물질에 작용하는 반면 전자기장은 그러하지 않다는 점이다. 만약 전자기력이 공간의 변형을 통해 작용하는 것이라면 ‘전자기력에 의해 휨 공간이 특정 물질들(철 등)에만 작용하고 다른 물질들(나무, 물 등)에는 왜 영향을 미치지 못하는지’ 설명해야 할 것이다. 또한 중력의 작용으로 공간이 휘어 있고 여기에 전자기력의 작용이 더해진다면 이들의 합성으로 형성된 공간은 어떤 형태가 될 것인가 하는 의문도 제기될 수 있다.

물론, 중력에 의해 시공간이 휘지만 전자기력은 공간을 휘게 하지 않는 경우도 생각해 볼 수 있다. 그렇다면 왜 중력은 시공간을 휘게 하고 전자기력은 그렇지 않는지를 설명해야 할 것이다. 이를 달리 표현하면 전자기력은 물질들 간에 직접 작용하는데 중력은 왜 물질들에 직접 작용하지 못하고 공간을 매개로 해서 작용하는지 해명해야 한다는 것이다. 아인슈타인은 중력장과 전자기장이 통합된 통일장 이론을 장기간 탐구하였고 수차례 걸쳐 발표하기까지 하였지만 결과적으로 성공하지 못하였다.

실제 실험 및 관측 2-6 : 중력파 검출

가장 최근에는 아인슈타인의 주요 예측 중의 하나인 중력파 검출이 성공하였다. 라이고 연구단이 2015년 9월 14일 탐지한 중력파는 지구에서 13억 광년 떨어진 2개의 블랙홀이 충돌할 때 발생한 파동이다. 이 때 유실된 태양의 3배 정도의 블랙홀의 질량이 중력파로 빠져 나갔는데 라이고 검출기가 잡아낸 것이다.

이 관측 결과, 중력이 일종의 에너지로서 전자기파와 마찬가지로 파동을 가지며 그것의 속력이 우주공간에서의 최고 속력인 c 라는 사실이 밝혀졌다. 뉴턴의 중력방정식은 중력파를 예상하지 못했고 절대공간 상에서 중력의 속도가 무한할 것이라고 추정했지만 중력이 파장을 가지며 중력의 속력이 빛의 속력과 동일하다는 사실이 확인되었다고 할 수 있다. 이는 일반상대성이론의 최종 승리이자 현대 과학의 일대 쾌거로 받아들여지고 있다.

이 관측 결과는 일반상대성이론과 특수상대성이론의 방정식이 대단히 정확하며 타당함을 또다시 보여주었지만, 이 사실이 중력에 의해 공간이 휘어 있음을 입증하는 것인지는 확실치 않다고 할 것이다. 이 중력파가 시공간의 물결인지 전자기파와 같은 에너지 흐름인지를 생각해 볼 때 전자로 단정할 근거가 약하기 때문이다.

중력파를 단순히 에너지의 흐름으로 본다고 하더라도 중력파가 밀려와서 지구라는 물체의 시간을 느리게 하고 길이를 수축시킬 수 있는 것이다. 그것은 지구라는 물체가 중력장을 형성하여 시간 흐름에 영향을 주고 길이의 변화에 작용하는 것과 다를 바 없는 것이다. 그리고 빛이 광자의 흐름이듯이 중력을 중력미자라는 입자의 흐름으로 간주한다면, 중력파의 검출이 뉴턴의 절대공간 개념에 완전히 배치된다고 할 수 없을 것이다.

실제 실험 및 관측 2-7 : 기타 실험 및 관측결과들

이상에서 논의한 것 이외에도 일반상대성이론을 지지하는 실험 및 관측결과들은 상당히 다양하다.

그 중 하나가 중력렌즈 현상이다. 중력렌즈 현상은 별빛이 중력이 매우 큰 천체 주위에서 휘는 현상이다. 그것은 기본적으로 태양이라는 항성 주위에서 별빛이 휘는 원리와 동일한 것이지만 태양계 밖의 우주에서도 동일한 현상이 관측된다는 사실이 확인된 것이다. 우리는 ‘실제 실험 및 관측 2-2 : 태양 주위에서의 별빛의 휨’에서 이 문제를 자세히 검토한 바, 중력에 의해 빛이 휘다는 것은 뉴턴의 중력방정식과 중력장 개념으로도 설명될 수 있다. 일반상대성이론의 예측 값이 보다 정확하긴 하지만 그것만으로 시공간의 연속성과 물질에 의한 시공간의 변형을 추론하는 것은 한계가 있다는 것이다.

아인슈타인의 일반상대성이론이 예측한 또 다른 성과는 블랙홀이다. 블랙홀은 물질이 고도로 응축되어 밀도가 극대화된 천체인데, 빛이 블랙홀 근처에서 휨 뿐 아니라 일부는 블랙홀 속으로 끌려들어간다고 한다. 블랙홀의 발견은 일반상대성이론의 개가라고 할 수 있겠지만 이 현상 역시도 일반상대성이론의 방정식을 검증하고 있는 것이지 시공간의 연속성과 중력에 의한 시공간의 왜곡을 완전히 입증한 것으로 보기는 어려울 것이다. 물질이 자체 중력에 의해 고도로 응축된다는 것이 공간이 휘어야만 가능한 것은 아니며, 빛이 중력에 의해 휨 수 있다면 극단적인 경우에는 끌려들어갈 수도 있기 때문이다.

4.3 종합

이상에서 상대성이론을 검증하는 다양한 관측 및 실험들을 검토하였다. 이 관측과 실험들은 모두 특수, 일반상대성이론의 방정식이 얼마나 정확한지 보여준다. 특히 최근에 수행된 실험들은 고도로 정밀하고 대규모로 진행된 것들이어서 일반상대성이론의 검증에 결정적인 역할을 하고 있다.

그러나 우리는 그간의 상대성이론을 검증한 실험과 관측들이 상대성이론의 방정식의 정확성을 검증하였을 뿐, 그것이 상대성이론의 가정으로서 상대성원리와 광속불변가설, 그리고 상대성이론에 대한 아인슈타인의 해석으로서 시공간 연속체론 및 공간수축 가설을 입증하는 것이 아님을 일관되게 주장하였다. 어떤 이론의 방정식이 검증되었다고 그것의 가정이나 해석까지가 모두 증명된 것은 아니며 이들 사이에 논리적 비약이 있을 수 있다는 것이다.

특수상대성이론과 관련된 실험 및 관측들을 검토하면서, 이 실험 및 관측 결과들이 상대공간, 상대성원리보다는 오히려 절대공간의 관점에서 설명하는 것이 타당하다는 사실을 밝혔다. 마이컬슨·몰리실험의 경우, 양방향으로 날아간 빛이 동시에 돌아와서 만나기 위해서는 길이수축, 시간지연이 실제로 일어나야 하며 따라서 상대성원리를 적용하는 것이 무리가 있음을 강조하였다. 또, 뮤온의 수명(입자붕괴) 문제에 있어서도 상대성원리를 적용하는 것이 모순을 일으킨다는 점을 지적하였다. 더하여 제트기에 실려서 지구를 양방향으로 돌아온 원자시계 실험은, 절대공간에 대한 운동으로 볼 때 실험결과가 명확히 설명된다고 할 것이다. 그리고 인공위성(GPS)의 시계의 경우에도 상대성원리를 적용하기보다 절대공간에서의 운동으로 인한 시간지연으로 이해하는 것이 논리적으로 모순이 없다고 판단된다.

일반상대성이론과 관련된 실험 및 관측들은 훨씬 정교하고 방대한 수준에서 전개되었고 상대성이론의 타당성을 극적으로 검증하였지만, 그것이 시공간의 연속체 가설과 중력에 의해 시공간이 왜곡된다는 아인슈타인의 해석을 입증하는 것으로 아니라고 생각된다. 수성의 근일점 이동도 그러하지만, 별빛이 태양 주위에서 휘는 현상도 공간의 휨으로만 설명될 수 있는 것이 아니다. 뉴턴의 중력장 방정식으로도 빛이 중력에 의해 휘는 것은 이미 예측되었으며 다만 일반상대성이론의 방정식보다 정확히 별빛이 휘는 각도를 추산한 것이다. 지구의 중력에 의해 시간이 지연되는 현상은 최근 원자시계의 발전으로 보다 정교하게 측정되고 있는데, 이러한 결과는 시간이 공간과 연속되어 있다기 보다는 물질 자체에 의존하고 있음을 보여준다. 그것은 이 연구의 주요 가설 중 하나이다.

이런 관점에서 최근 다양하게 수행된 실험 및 관측들을 중력에 의한 시공간 왜곡으로 해석하는 것이 논리적 비약을 내포하며 단순히 중력에 의한 물질의 길이수축과 시간지연으로 해석해도 거의 문제가 없을 것으로 보인다.

5. 결론

이 연구는 마이컬슨·몰리 실험결과와 로렌츠변환 그리고 아인슈타인의 상대성이론의 재해석을 시도한 것이다. 마이컬슨·몰리실험은 우주공간의 어디에서든 빛의 운동속도가 일정하다는 놀라운 결과를 보여주었으며, 이에 로렌츠와 아인슈타인이 물체의 운동에 따른 시간, 길이, 질량의 변화를 수학적으로 정리하여 이 난문을 해명한 것이다. 그런데 아인슈타인은 자신의 상대성이론을 설명하는 과정에서 상대성 원리(상대공간)라는 혁명적인 가정을 도입하였다. 그것은 우주에는 절대 좌표계가 없으며 모든 운동은 상대적이라는 것이다. 그리고 이 아이디어는 지난 100여 년간 현대 과학을 지배해 왔다.

이에 대해 본 연구는 다양한 사고실험을 통해 상대성원리(혹은 상대공간 개념)가 없이도 상대성이론이나 마이컬슨·몰리 실험결과가 설명될 수 있으며 오히려 상대성원리가 상대성이론의 방정식과 모순된다고 주장한다. 이 논문은 뉴턴이 주장한 절대공간론의 관점을 토대로 공간, 시간, 물질의 관계에 대한 7가지 가설을 제시하였으며 사고실험 등을 통해 그것의 타당성을 논증하였다.

여러 사고실험들은 상대성원리가 상대성이론의 방정식과 상충됨을 지적한다. 그리고 상대성이론의 방정식이 공간의 수축이나 시공간의 연속성, 중력에 의한 시공간의 왜곡을 의미하지 않음을 보여준다. 물질의 운동이 공간의 수축을 가져올 수 없다면 물질의 가속도 운동과 등가인 중력도 공간의 수축이나 변형을 가져올 수 없을 것이다.

그간 상대성이론을 검증하는 많은 실험과 관측들이 있었고 그것들이 상대성이론의 타당성을 명확히 검증했음에도 불구하고, 일반상대성이론이 물질의 중력에 대한 공간의 왜곡(변형)을 가져옴을 시사한다는 아인슈타인의 주장은 여전히 가설로 남아있다. 공간의 왜곡은 수차의 간접적인 관측과 실험들이 있었지만 여전히 직접적인 증거는 존재하지 않는다. 사실, 그간 검증된 사실은 상대성이론의 방정식들이 정확하다는 것이며 이 방정식들에 대한 해석으로서 시공간의 연속성, 시공간의 왜곡이 검증된 것은 아니다. 이러한 해석들은 여전히 경험적 검증을 거친 것이 아니며 일종의 비유이거나 관념적 구성물에 지나지 않는 것일 수도 있다. 빛이 절대공간에서 쉴 수 있다면 중력도 마찬가지로 절대공간에서 유사하게 운동할 수 있는 것이다.

필자가 이 연구를 본격적으로 진행할 수 있었던 것은 브라이언 그린의 저서 우주의 구조로부터 중요한 시사점과 도움을 얻었기 때문이다. 브라이언 그린은 현대 물리학의 관점에서 뉴턴의 회전하는 물통실험이 아인슈타인의 상대성 모델에서도 타당하다고 지적하였다. 나아가 그것은 특수상대성이론이나 일반상대성이론 모두에 적용된다는 것이다. 브라이언 그린은 다소 모호하긴 하지만, 뉴턴의 물통은 상대공간이 아니라 절대시공간에 대해 회전한다는 것이다. 현대물리학이 상대공간 혹은 상대성 원리를 반쯤 부정한 것이다.

그런 점에서 이 연구는 현대 물리학의 성취 위에서 진행된 것이다. 하지만 이 논문의 주요 아이디어는 아인슈타인 이전 여러 물리학자들의 제안에 닿아 있다. 특히, 피츠제럴드, 로렌츠의 관점과 상당 정도로 유사하다. 다만 본 연구는 빛의 속성에 관한 아인슈타인의 발견에 따라서 빛의 전달물질로서 에테르를 부정한다. 그리고 로렌츠가 공간, 시간, 물질의 관계를 명확히 설정하지 못했다면

현대 과학의 입장에서 그것들을 재정립하려 하였다.

본 연구 결과는 뉴턴의 시공간론과 아인슈타인의 시공간론의 전향적 통합이라고 할 수 있다. 그것은 양자의 단순한 혼합이라기보다는 뉴턴의 절대공간을 기반으로 하여 운동하는 물질의 변형성, 시간의 물질 의존성 등을 재구성한 새로운 시공간 모델이다.

이 연구의 가설에 의하면 우주는 비교적 간명하며 이해하기 어렵지 않다. 아인슈타인은 평소에 ‘우주는 단순한 원리에 의해 구성되어 있을 것’이라고 했는데 그러한 기대에 부합하는 것이다.

참고문헌

- 김향배, 2017, 우주, 시공간과 물질, 서울: 컬처룩.
- 남순건, 2007, 스트링 코스모스, 서울: 지호.
- 민건, 2015, 일반상대성이론, 서울: 우주알림.
- 송은영, 2010, 아인슈타인의 생각실험실 1, 2, 서울: 부키.
- 이열, 2003, 시간공간의 물리학, 서울: 홍릉과학출판사.
- 이열, 2009, 아인슈타인의 상대성 이론, 서울: 홍릉과학출판사.
- 이종필, 2015, 이종필의 아주 특별한 상대성이론 강의, 서울: 동아시아.
- 이철훈, 1986, 일반상대론, 대우학술총서 자연과학 38
- 차동우, 2003, 상대성이론, 서울: 북스힐.
- Arthur B, 장준성 역, 2011. 현대물리학(6판), 서울: 교보문고.
- Carroll SM. 2003, Spacetime and geometry: an introduction to general relativity, Addison-Wesley.
- Carroll SM, 김영태 역, 2012, 현대물리학, 시간과 우주의 비밀에 답하다. 서울: 다른세상.
- Einstein A, 이주명 역, 2012, 상대성의 특수이론과 일반이론, 서울: 필맥.
- French AE, 1968, Special Relativity, New York: Norton.
- Greene B, 박병철 역, 2005, 우주의 구조: 공간과 시간, 그 근원을 찾아서, 서울: 승산.
- Randall L, 김연중, 이민재 공역, 2008, 숨겨진 우주 : 비틀린 5차원 시공간과 여분 차원의 비밀을 찾아서, 서울: 사이언스북스.
- Resnick R. 1968, Introduction to Special Relativity, New York: Wiley.
- Rindler W, 2011, Special relativity: kinematics. Scholarpedia, 6(2), 8520.
- Rindler W, 2012, Special relativity: mechanics. Scholarpedia, 7(1), 10905.
- Taler EF, Wheeler JA, 1992, Space time Physics, New York: Freeman.
- Wald, RM, 1984, General relativity, Chicago: University of Chicago Press.