

# 마이컬슨·몰리실험, 로렌츠변환 그리고 상대성이론의 재해석

- 뉴턴과 아인슈타인 시공간론의 전향적 통합

권오혁(부경대 교수)

※ 이 논문은 한국우주과학회의 2017년 춘계학술대회에서 프로시딩으로 발표된 것을 수정, 보완한  
것임

## 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 아인슈타인이 제안한 가정인 특수 상대성원리와 상충되며 뉴턴의 절대공간 개념을 재도입하여 상대성이론의 방정식을 해석할 수 있음을 논증한다.

특수 상대성원리는 아인슈타인이 특수상대론 논문을 발표할 때 제안한 가정으로서 우주공간에는 절대좌표계가 존재하지 않으며 모든 운동이 상대적이라는 것이다. 특수 상대성원리는 관성계 개념과 깊은 관련이 있는데, 전기 아인슈타인은 공간의 존재를 부정하는 관점에서 절대적 관성계를 제시하였고, 공간의 존재를 수용한 후기 아인슈타인은 갈릴레이의 관성계 개념에다 시공간을 포함시킨다. 이것이 갈릴레이 관성계와 구분되는 아인슈타인 특유의 관성계 개념으로서, 그에 따라 특수 상대성원리는 상대공간 개념으로 발전된 것이다. 이에 대해 본 연구는 관성계가 질량을 가진 물질로 구성되며, 빛이나 공간은 관성계에 포함되지 않는다고 간주한다. 왜냐하면 이들은 물질과 함께 관성운동을 하지 않기 때문이다.

이런 관점에서 본 연구는 특수 상대성원리를 기반으로 한 상대공간 개념을 비판하고 그것을 대신하여 뉴턴의 절대공간 개념을 재도입한다. 그리고 절대공간에서의 물체의 속력이 길이, 질량, 시간에 영향을 미친다는 가설을 제시하고 이러한 가설이 마이컬슨·몰리실험 결과, 로렌츠변환, 상대성이론의 방정식 등과 서로 상합될 수 있음을 보여준다.

또한 이 연구 결과는 질량증가, 길이 수축 및 시간의 팽창이 물질 자체에만 적용되며 관성계(좌표계)에 있어서 공간에 영향을 미치지 못함을 지적한다. 그런 점에서 이 연구는 4차원 시공간연속체 개념을 부정한다.

이 논문은 다음과 같이 구성되었다. 먼저, 뉴턴과 아인슈타인의 우주론을 검토한 후, 본 연구에서 바라보는 우주와 공간, 시간에 대한 관점(주요 가설)을 제시한다. 그리고 이러한 관점을 지지하는 다양한 사고실험들과 그간의 실험 및 관측결과에 대한 재해석을 통해 가설의 논거를 제시한다. 마지막으로 이러한 논의 결과를 종합한다.

## 목 차

1. 들어가며
2. 우주·공간·시간에 대한 관점
  - 2.1 뉴턴의 우주관
  - 2.2 아인슈타인의 우주관
  - 3.3 우주·공간·시간에 대한 본연구의 관점 : 주요 가설
3. 사고실험을 통한 가설의 검증
  - 3.1 특수 상대성원리(상대공간)의 모순과 절대공간의 타당성
    - 사고실험 1-1 : 준광속 기차의 시계 비교(1)
    - 사고실험 1-2 : 준광속 기차의 시계 비교(2)
    - 사고실험 1-3 : 우주선에서 총과 레이저 쏘기
    - 사고실험 1-4 : 준광속 기차의 천정 거울에 레이저 쏘기
    - 사고실험 1-5 : 우주선에서의 마이컬슨·몰리실험(1)
    - 사고실험 1-6 : 우주선의 삼각막대(삼각함수의 역설)
    - 사고실험 1-7 : 달리는 기차에서 본 외부 시계
    - 사고실험 1-8 : 마주 보고 달리는 기차에서의 속력 측정
    - 사고실험 1-9 : 쌍둥이 역설의 모순
    - 사고실험 1-10 : 질량증가의 상대성 문제
    - 사고실험 1-11 : 가속도 운동의 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 : 행성이나 운석의 시계

사고실험 3-4 : 요동하는 우주선의 시간지연

### 3.4 종합

## 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. 맺으며

## 1. 들어가며

맥스웰 방정식이 빛의 속력이  $c$ 로서 일정하다는 놀라운 결론을 제시한 이후, 마이컬슨·몰리 실험의 결과는 빛의 속력이 어디에서나 어떤 방향으로나 항상 동일하게 측정된다는 중대한 난제를 19세기 물리학에 던졌다. 이를 해결하기 위해 여러 물리학자들이 다양한 아이디어를 내놓았고 이것들을 종합하여 로렌츠가 로렌츠변환이라는 방정식을 제시하였다. 즉, 운동하는 물체는 길이수축, 시간지연, 질량증가가 발생한다는 것이다. 그러나 맥스웰방정식에서 광속이 항상 일정하다는 것의 의미가 분명하지 않다(무엇에 대한 속력인가)는 지적과 같이 로렌츠변환도 유사한 문제를 내포하고 있었다. 특히 광원이나 관찰자의 운동과 상관없이 광속이 일정하게 측정된다는 마이컬슨·몰리실험 결과는 로렌츠변환으로 해명하는데 한계가 있었다.

이때 아인슈타인이 역사적인 특수상대성이론을 발표하였다. 특수상대성이론은 로렌츠변환을 수용하여 운동하는 관성계에 있어서 시간지연, 길이수축, 질량증가 현상을 이론적으로 설명한 것이다. 아인슈타인은 나아가 이 현상을 보다 체계적으로 해명하기 위해 특수 상대성원리<sup>1)</sup>와 광속불변이라는 2가지 가정을 제시하였다. 또, 10년이 지난 후에는 등속의 관성운동을 넘어선 가속도운동과 중력에도 적용될 수 있는 일반상대성이론을 발표하기에 이른다.

일반상대성이론이 발표된 후 지난 100년 동안 여러 실험과 관측들은 로렌츠와 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 동등성을 밝혔고, 가속도운동과 중력의 증가성을 규명하였다. 무엇보다도 뉴턴의 절대공간, 절대시간을 대체하는 4차원의 시공간 개념을 제시하여 시간과 공간, 우주에 대한 기본 관념을 바꾸어 놓았다.

그러나 아인슈타인의 이러한 이론 모델과 해석은 여전히 이해하기 어렵고 불명확하며 논란의 여지를 남겨두고 있다. 상대성이론이 처음 나왔을 때 이 이론을 이해하는 사람이 전 세계에 3명밖에 없다는 말도 있었지만 100년이 넘게 지난 지금에도 상대성 모델의 해석을 둘러싼 오해와 시비는 그치지 않고 있다. 그만큼 아인슈타인의 가정과 해석이 근본적이고 파격적이며 경험과 직관에 부합하지 않는 측면이 있는 것이다. 상대성이론과 관련된 실험과 관측들이 거듭 이 이론의 타당성을 검증해왔지만, 문제는 이 방정식에 대한 아인슈타인의 가정과 해석이라고 할 수 있다.

아인슈타인의 상대성이론은 2가지 가정과 방정식 그리고 방정식에 대한 해석으로 구성된다. 특수상대성이론 논문에서 제시된 2가지 가정은 전술한 특수 상대성원리와 광속불변이다. 그리고 상대성이론의 방정식은 특수상대성이론의 방정식(로렌츠변환)과 일반상대성이론의 방정식으로 구분될 수

1) 이열(2008)은 아인슈타인의 상대성원리를 갈릴레이의 운동역학에 관한 상대성원리와 구별하기 위해 ‘특수 상대성원리’라고 규정한 바, 본 연구에서도 아인슈타인의 상대성원리를 ‘특수 상대성원리’로 지칭한다. 특수 상대성원리에 관한 아인슈타인의 설명이 모호해서 흔히 갈릴레이의 상대성원리와 정확히 구분되지 않고 혼용되는 경향이 있지만, 아인슈타인은 갈릴레이의 상대성원리와 자신의 상대성원리를 명확히 구분하기 위해 갈릴레이의 상대성원리를 ‘제한된 의미의 상대성원리’라고 규정한 바 있다 (Einstein, 1920).

있으며, 아인슈타인은 이 가정과 방정식들을 토대로 우주공간이 4차원의 시공간연속체라는 해석을 내놓았다.

여기서 문제가 되는 것은 아인슈타인의 2가지 가정과 4차원 시공간연속체라는 해석인데, 이 중에서도 가장 근원적으로 문제의 소지를 가진 것이, 그리고 4차원 시공간연속체라는 해석의 토대가 되는 것이 특수 상대성원리라는 가정이다. 즉, 특수 상대성원리가 상대성이론의 방정식과 결합하면서 우주가 4차원 시공간연속체라는 놀라운 해석이 도출된 것이다.

아인슈타인이 제안한 특수 상대성원리란 가정은 무엇을 의미하는가? 상대성원리는 본래 갈릴레이에 의해 제안되었는데 갈릴레이는 "속도의 크기나 방향에 상관없이, 상대적으로 일정 속도로 운동하는 모든 관측자에게 물리 법칙은 동일하다"고 하였다. 이때 갈릴레이가 염두에 둔 관성계는 운동하는 물질들의 집합이었고 고전역학에 대응하는 것이었다. 그런데 상대성이론을 발표할 당시 아인슈타인은 공간과 시간의 존재를 부정하는 마흐의 관점을 수용함으로써 물질 운동의 절대적 상대성을 전제하였고, 공간의 존재를 수용한 이후의 아인슈타인은 관성계 개념에 시공간을 포함시킴으로써 상대성의 의미를 크게 확장하였다. 아인슈타인은 갈릴레이의 상대성원리를 '제한된 의미의 상대성원리'라고 규정하고<sup>2)</sup> 자신의 상대성원리와 구분하였다(Einstein, 1920).

아인슈타인의 특수 상대성원리 역시 '모든 관성계에서의 물리 법칙은 동일하다'는 간명한 명제로 표현된다.<sup>3)</sup> 즉 어떤 관성계가 있다고 할 때 그 관성계는 나머지 우주(관성계)에 대해 동등하고 두 관성계의 운동은 서로 상대적이라는 것이다. 그런데 이를 전자기파의 운동 특성과 로렌츠 변환을 수용하는 관점에서 본다면 우주공간에 절대좌표계가 존재하지 않으며 모든 물질의 운동은 상대적이라는 급진적인 가설로 전환된다. 그것은 상대운동을 겉보기운동으로 간주한 갈릴레이-뉴턴의 관점을 뒤집은 것으로서, 19세기까지 과학계를 지배해온 뉴턴의 절대공간, 절대시간 개념에 대한 혁명적인 도전이라고 할 수 있다.

아인슈타인의 특수 상대성원리라는 가정의 중심에는, 전술한 관성계 (혹은 좌표계) 개념이 자리 잡고 있다. 아인슈타인은 갈릴레이의 관성계 개념에 시공간을 포함시켰는데 이것이 아인슈타인식 특수 상대성원리의 핵심이라고 할 수 있다(Einstein, 1952).<sup>4)</sup> 시공간이 관성계와 함께 운동한다면 시공간의 절대적 기준은 존재할 수 없을 것이다.

그러나 이러한 아인슈타인의 관성계 개념은 그간 거의 주목을 받지 못했다. 그것은 갈릴레이의

2) 아인슈타인은 M. 야머의 공간 개념이라는 저서의 서문에서 갈릴레이의 상대성원리를 '제한된 의미의 상대성원리'라는 용어 대신에 '고전적 상대성원리'라고 부르기도 하였다(Jammer, 1994).

3) The laws by which the states of physical systems undergo change are not affected, whether these changes of state be referred to the one or the other of two systems in uniform translatory motion relative to each other.

4) 아인슈타인은 관성계에 대해 다음과 같이 설명하고 있다. "물질과 장이 제거된다고 상상하고 보면 관성공간이 남으며, 보다 정확하게 말하면 연관된 시간과 더불어 관성공간이 남는다. 그 4차원 구조(민코프스키 공간)는 물질의 운반자이자 장의 운반자라고 생각된다."(Einstein, 1952) 말하자면, 아인슈타인은 관성계 개념을 통해 자신의 특수 상대성원리(상대공간)의 개념을 구체화하였다. 등속 운동을 하는 물질들이 하나의 관성계를 형성한다면, 운동하는 물질들의 관성계(혹은 좌표계)에 물질과 함께 공간과 시간이 포함된다는 것이다. 즉, 관성계마다 물질과 공간, 시간이 함께 별개의 시스템을 구축한다는 논리이다. 그것은 공간이 고정되어 있고 물질들만이 공간상에서 운동한다고 보는 갈릴레이-뉴턴의 역학 개념을 뛰어넘는 것이며, 모든 물질과 공간에 있어서 동일하게 시간이 진행되리라고 판단한 뉴턴의 절대시간 개념을 부정한 것이다.

관성계 개념과 동일시되거나 유사하게 받아들여져서 근본적인 차이와 의미가 인식되지 못했던 것이다. 이에 대해 본 연구는 아인슈타인의 관성계 개념이 갈릴레이의 관성계와 명확히 구분되어야 하며 이 개념으로부터 상대성이론의 해석과 관련된 근본적인 문제가 비롯된다고 판단한다.

예컨대 상대성이론(의 방정식)과 특수 상대성원리의 관계를 곰곰이 따져 보자. 상대성이론(의 방정식)에 의하면 운동하는 물체(혹은 좌표계)나 중력의 영향을 받는 물체는 실제로 길이수축, 시간지연, 질량증가 효과가 일어난다. 그러나 특수 상대성원리에 의하면 두 좌표계 중 어느 쪽에서 그런 효과가 발생할지 알 수 없다. 이는 무엇을 의미하는가? 만약 특정한 물체나 좌표계에서 실제로 그런 효과(길이수축, 시간지연, 질량증가)가 발생한다면 특수 상대성원리 자체가 부정되는 것이다. 상대성이론의 두 기둥이 스스로 모순적이라고 하지 않을 수 없다. 사실은 특수상대성이론의 방정식(로렌츠 변환)은 갈릴레이의 상대성원리도 부정한다고 볼 수 있다. 운동하는 물체에 로렌츠변환이 실제로 나타난다면 갈릴레이의 제한된 상대성원리도 타당성을 상실하게 되는데, 왜냐하면 서로 완전히 동등한 관성계가 아니기 때문이다.

더하여 시공간의 실체도 아인슈타인에 의해 해명되기보다 오히려 의문투성으로 변했다. 특수·일반상대성을 발표한 아인슈타인은 공간의 실재를 부정하는 마흐의 관점을 지지하였지만 만년에 이르러서 공간(시공간)이 물리적 실체라는데 사실상 동의한다(Greene, 2004). 하지만 그는 공간(시공간)이 우주 내에 고정된 절대 좌표계가 아니라고 주장하는 특수 상대성원리를 포기하지 않았다. 공간이 물리적 실체로서 존재하지만 고정된 좌표계가 아니라면 나아가 공간이 물질의 운반자로서 물질과 함께 이동한다면(Einstein, 1952), 공간의 실체는 어떤 것인가. 공간의 개념이 일반인들 뿐 아니라 과학자들에게조차 모호하고, 직관이나 경험에 대응하지 않는 것이다.

그럼에도 아인슈타인의 상대성이론이 그간 성공적인 검증과정을 거쳐 오면서 특수 상대성원리의 위상도 더불어 점점 더 확고해졌다. 특수 상대성원리는 이제 현대물리학의 우주에 대한 인식의 토대를 구성하고 있을 뿐 아니라 현대 사회가 우주공간을 보는 기본 관점으로서 (토마스 쿤이 말하는 의미의) 정상과학의 지위를 누리고 있다. 특수 상대성원리 혹은 상대공간이라는 가설은 여전히 입증되지 않았음에도, 과학계에서 사실상 공리처럼 받아들여지고 있는 것이다.

그러나 상대론자들이 시공간을 다루는 우주물리학계의 대세라고는 하지만, 특수 상대성원리나 상대공간 개념이 학계의 합의된 결론이거나 유일무이한 대안이 아니라는 점은 분명하다(Greene, 2004). 사실, 이 점은 아인슈타인 자신도 염려하고 있었는데 아인슈타인은 상대성이론의 방정식의 타당성에 대해서는 추호의 의심도 보이지 않았지만 자신의 가정과 해석이 타당한지에 대해서는 말년까지도 확신하지 못했다(Einstein, 1952). 그런데 아인슈타인의 생전에 특수·일반상대성이론에 대한 많은 관측과 실험이 이미 성공을 거둔바 있다.

브라이언 그린은 현대 물리학의 관점에서 뉴턴의 회전하는 물통실험이 아인슈타인의 상대성 모델에서도 타당하다고 지적하였다. 나아가 그것은 특수상대성이론이나 일반상대성이론 모두에 적용된다는 것이다. 브라이언 그린과 같은 일군의 현대 물리학자들을 과학적 실재론자로 부르는데 이들은 뉴턴의 물통은 상대공간이 아니라 절대시공간에 대해 회전한다고 설명한다(Greene, 2004). 현대물리학이 상대공간 혹은 특수 상대성원리를 상당 정도로 부정하고 있는 것이다. 또한, 상대성이론과

함께 현대 물리학의 양대 축을 형성하고 있는 양자역학은, 상대성이론에 의해 시간이 지연될 수 있음이 확인되었음에도 외적 절대시간 개념을 고수하고 있다(Padova, 2013).

손 캐럴도 상대성이론 등 현대 우주 관련 이론들이 당황스러울 정도로 미흡하며 신빙성이 부족하다고 지적한 바 있다(Carroll, 2012). 상대론적 관점이 여전히 시공간 이론의 정상을 차지고 있지만 현대 상대론자들조차도 시공간모델의 타당성과 가능성을 탐색 중에 있다(Padova, 2013).

이러한 점에서 본 연구가 특수 상대성원리와 상대공간 그리고 시공간연속체 가설을 비판하고 새로운 대안을 모색하는 것은, 완전히 입증되고 결론이 내려진 현대 과학이론에 도전하는 것만은 아니다. 오히려 우리는 현대 물리학의 이론적 실험적 결과를 존중하며, 그것들을 토대로 하여 이러한 이론적 실험적 성과들이, 여전히 명확히 이해되지 못하고 의문에 싸여 있는 상대성이론의 몇몇 가설 및 해석들과 상충함을 밝히려 하는 것이다.

본 연구는 다양한 사고실험을 통해 마이컬슨·몰리실험 결과와 로렌츠변환, 상대성이론의 방정식을 재해석하고자 한다. 특히 뉴턴의 절대공간 관점에서 세 가지 연구성과(마이컬슨·몰리실험과 로렌츠변환 그리고 상대성이론의 방정식)를 재해석하며 그것들이 상합될 수 있음을 밝힐 것이다. 나아가 새로운 사고실험과 그간의 관측결과들이 아인슈타인의 특수 상대성원리나 시공간연속체와 상충한다는 사실을 논증하려 하는바, 이 연구결과에 의하면 상대성이론의 방정식이 특수 상대성원리 및 상대성이론에 대한 해석들과 모순된다.<sup>5)</sup>

본 연구의 관점은 특수 상대성원리의 상대공간 개념을 부정하고 절대공간을 재도입하는 것이다. 나아가, 운동을 하거나 중력의 영향을 받은 물질(물체)에 있어서 길이수축, 시간지연, 질량증가가 물질 자체에서 발생하며 공간(의 변형)과 관련되지 않는다고 본다. 시간은 기본적으로 물질들의 자체적인 진동과정(양자역학의  $E=\hbar\omega$ 에서 진동수  $\omega$ )으로서, 어떤 물질의 진동주기가 물질의 운동이나 중력 등에 의해 다른 물질들보다 느려지면 시간이 상대적으로 느리게 갈 것이다.

그런 점에서 이 논문은 뉴턴의 절대공간 개념과 아인슈타인의 상대적인(변화 가능한) 시간, 길이, 질량 개념을 통합하려는 시도라고 할 수 있다. 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(Greene, 2004).

이 논문은 다음과 같이 구성되었다. 먼저, 본 연구에서 바라보는 우주와 공간, 시간에 대한 기본 가설을 제안한다. 그것은 상대성이론에 대한 아인슈타인의 해석을 대체하는 새로운 접근이자 우주관이라고 할 수 있다.

다음에는 이러한 관점을 지지하는 논거를 제시한다. 이 연구는 마이컬슨·몰리실험 결과를 아인슈타인의 동시성 실험과 결합하여 재해석하고 이외에도 다양한 사고실험들을 제안하고 분석한다. 여기서는 특수 상대성원리를 비판하고 절대공간의 타당성을 검토하는 사고실험들이 선행되며 다음으로 상대성이론의 길이수축 현상이 공간의 수축이 아닌 물질의 수축을 의미함을 규명한다. 시간지연 현

5) 아인슈타인의 특수 상대성원리는 그의 관성계 개념과 직접적으로 연관되어 있는데, 아인슈타인의 관성계는 일반적으로 전혀 검증될 수 없는 문제인 것처럼 논의되고 있지만 본 연구는 여러 사고실험을 통해 시공간이 관성계의 일부가 아니며 관성계와 함께 운동하지 않음을 논증한다.



상에 대한 사고실험과 분석은 시간이 물질(의 운동과 중력)에 직접적으로 종속되며 공간과는 무관하다는 사실을 밝힌다.

이러한 사고실험에 더하여 상대성이론을 검증하는 그간의 실제 관측 및 실험결과들을 검토한다. 그것은 특수상대성이론과 일반상대성이론 관련 실제 관측 및 실험 결과로 구분하여 논의될 것인바, 상대성이론과 관련된 실험 및 관측들이 상대성이론 자체(방정식)를 검증한 것이며 특수 상대성원리라는 가정이나 시공간연속체라는 해석까지를 입증한 것이 아님을 밝히려 한다. 나아가 이 관측 및 실험 결과들을 신중하게 분석해보면, 그것들이 특수 상대성원리(상대공간)에 오히려 모순되며 절대공간 개념에 상합한다는 사실을 파악할 수 있을 것이다.

마지막에는 이러한 다양한 사고실험들과 실제 관측 및 실험 결과에 대한 논의들을 종합할 것이다. 여기서는 이 연구의 가설이 사고실험 결과와 일치하며 그간의 검증(실제 실험 및 관측 결과)들과도 부합함을 지적한다.

## 2. 우주·공간·시간에 대한 관점

### 3.1 뉴턴의 우주관

뉴턴의 우주관은 근대 과학의 우주관을 대표한다. 뉴턴의 우주관을 기계적 우주관이라고 흔히 지칭하는 것은, 그가 수학적 방법으로 우주에서의 천체 현상을 규명했기 때문이다. 뉴턴의 대표적 저서인 프린키피아의 부제는 자연철학의 수학적 원리이다.

그러나 뉴턴이 근대적 우주관을 확립함에 있어서 보다 결정적으로 기여한 것은 공간의 실체를 밝혔다는 점이다. 야머에 의하면 르네상스 이전까지 공간은 땅과 바다를 제외한 천상의 영역과 동일 시되거나 물질이 존재하지 않은 빈 부분으로 간주되었다(Jammer, 1994). 철학계에서는 데카르트가 공간을 물질로부터 독립된 실체로 파악하였지만, 데이비드 흄은 공간의 실재를 부정하고 물질의 빈 부분으로 설명하였다. 그러한 공간부재론은 라이프니츠와 마흐로 이어졌다(Einstein, 1952).

뉴턴은 과학적 관점에서 공간에 대한 인식을 명확히 정리하였다. 공간이 물질을 담는 무한대의 그릇으로서 우주 전체를 빈틈없이 메우고 있다는 것이다. 물질은 공간상에 자리를 잡고 끊임없이 변화하고 운동하고 있다. 즉, 공간은 물질과 독립적으로, 물질에 우선하여 존재하는 실체이다. 물질이 없이 공간이 존재할 수 있지만 공간이 전제되지 않고 물질은 존재할 근거가 없다.

나아가 뉴턴은 공간이 우주상에서 조금도 움직이지 않는 절대좌표계로서 모든 운동의 기준이 된다고 주장하였다(장회익, 2003). 완전히 고정되고 영원히 변하지 않는 3차원의 실체로서 공간은 신비롭기도 하지만 우리의 직관이나 경험적 관찰에 완벽하게 부합한다.

뉴턴은 이 사실을 단순히 직관적으로 파악하고 주장한 것이 아니다. 오히려 치밀한 과학적 사고 실험을 통해 입증하였다. 소위 ‘회전하는 물통’ 실험이 그것이다. 물통 안에 물이 들어있다고 할 때 (이 물통의 양편을 묶은 끈이 꼬이고 풀리기를 반복하는 과정에서) 물통이 회전한다고 해보자. 물통 안의 물은 물통을 따라서 회전하면서 가운데가 움푹해지고 외곽으로 갈수록 올라갈 것이다. 그렇다면 물은 회전과정에서 원심력을 받고 있는 것이 분명한데 물이 무엇에 대해 회전한다고 보아야 할 것인가.

뉴턴은 아무런 물질이 존재하지 않는 우주 공간에서도 회전하는 물통의 물이 원심력을 받게 될 것이며 이러한 원심력은 절대공간에 대한 운동에 기인한 것이라고 주장하였다. 뉴턴의 이러한 설명은 너무나 명쾌한 것이어서 뉴턴 지지자들과 공간의 실체에 대해 논쟁을 벌였던 라이프니츠도 사실상 백기를 들어야 했다(Greene, 2004). 그리고 19세기 후반까지 과학계나 철학계에서 거의 아무도 이의를 제기하지 못했다.

더구나 뉴턴은 물리적 실체로서 절대공간의 성질을 분석하고 규명하는데도 탁월한 능력을 발휘하였다. 그는 절대공간의 성질을 다음과 같이 정리하였다. 즉, 공간은 물질, 시간과 함께 우주를 구성하는 물리적 실체로서, 무한성, 공동(空洞)성, 3차원성, 편평성, 등방성, 연속성, 동질성, 고정성, 불변성, 영속성(비파괴성) 등을 가진다는 것이다. 절대공간에 있어서 이 같은 성질은 우리의 경험과 완전히 일치하며 과학적 실험들과도 전혀 모순되지 않았다. 근대 철학자인 칸트는 순수이성비판에서

공간을 인식의 범주로 파악하였지만 뉴턴이 제안한 공간의 성질은 그대로 수용한 바 있다.

뉴턴이 생각한 우주는 명료하다. 절대공간이라는 무한대의 빈 그릇에 여러 물질들이 떠다니면서 스스로 변화하기도 하고 운동을 하고 있는 것이다. 이때 물질의 변화와 운동과정은 공간에 어떤 영향도 미치지 못하며 공간도 물질에 대해 작위하지 않는다. 다만 모든 물질의 운동은 그것이 담겨 있는 절대공간의 규칙(성질)에 기본적으로 규정된다. 한편으로, 우주는 절대시간이 관통하며 절대시간은 완전한 규칙성과 불변성을 가진다. 물질은 절대시간의 흐름에 지배되며 절대시간에 영향을 미치지 못하는 것이다. 물론, 절대공간과 절대시간도 완전히 독립적이다(장회익, 2002).

절대공간론으로부터 출발한 뉴턴의 우주관은 물리역학이나 실험 결과와 합치하였을 뿐 아니라 유클리드 기하학의 분석과도 조금의 어긋남이 없어서 건축, 공학 등 기술문명 발전의 토대가 되었다. 다만 마흐가 19세기 말에 우주의 물질들이 물통의 물을 끌어당긴 것일 수도 있다는 새로운 해석을 들고 나왔지만 거의 주목을 받지 못했고 사실상 무시되었다고 해도 과언이 아니다.

그러나 19세기 후반의 전자기파 연구는 뉴턴 역학에 의문을 던졌고, 특히 마이컬슨·몰리실험 결과는 거대한 충격파가 되어 뉴턴 역학의 근거를 위협하였다. 이런 상황에서 뉴턴의 우주관도 함께 도전을 받게 되었는데, 마침내 1905년에 아인슈타인이 특수 상대성원리라는 가정을 제안하여 영원할 것 같던 뉴턴의 우주관을 근본부터 뒤엎는 것이다.

오늘날 대부분의 과학자들이나 과학에 조금이라도 소양이 있는 사람들은 현대과학이 뉴턴의 우주관(특히 시공간관)을 완전히 부정한 것으로 알고 있다. 아인슈타인의 4차원적 시공간관이 뉴턴의 고전적 우주관을 대체하였다는 것이다. 특히 토마스 쿤이 말하는 과학혁명 혹은 패러다임 혁명의 주요 사례로 이 사건이 주로 인용되기 때문에 뉴턴의 근대적 우주관은 현대과학에서 이미 폐기된 이론으로 치부되고 있다.

그러나 우주여행이 빈번해지면서 우주공간에서 회전하는 물통의 물은 원심력을 받는다는 사실이 실험을 통해 입증되었다. 나아가 마흐나 전기 아인슈타인의 기대와는 달리 우주에 물질이 존재하지 않더라도 회전하는 물통의 물은 원심력을 갖는다는 것이 현대 물리학의 정설로 굳어졌다(Greene, 2004). 특히 특수상대성이론에 따르면 물질의 존재와 관계없이 회전운동은 원심력을 만들며 이때 회전운동은 공간(혹은 시공간)을 기준으로 하지 않을 수 없게 된다. 다수의 현대 물리학자들은 우주 공간이 물리적 실체라는데 의견을 공유하고 있으며 우주공간이 순수한 상대공간이라기 보다는 절대시공간이라는 데 동의하고 있다(Greene, 2004).

이런 점에서 본 연구는 상대성이론에 의해 뉴턴의 역학이 부분적으로 수정되었다는 사실이 뉴턴의 우주관을 전체적으로 부정하는 것은 아니라고 본다. 상대성이론의 방정식(로렌츠변환)의 시간지연 효과에 따르면 뉴턴의 절대시간 개념은 수정이 불가피하다. 하지만 그것이 절대공간을 부정하는지는 불분명한데, 로렌츠변환의 길이수축이 공간의 수축이 아닌 물체(물질)의 길이 수축에 한정될 수도 있는 것이다. 뉴턴의 절대시간 개념만 적히 수정한다면 뉴턴의 우주관(절대공간)과 로렌츠변환 및 일반상대성이론의 방정식이 서로 상합할 수 있다는 것이 본 연구의 관점이다.

### 3.2 아인슈타인의 우주관

아인슈타인의 우주관이 현대 과학과 지식에 확산된 과정은 뉴턴의 근대적 우주관을 전복한 혁명적 사건이다. 아인슈타인이 1905년에 특수상대성이론을 제출하면서 특수 상대성원리와 광속불변가정을 제시하였고 이후 중력에 의해 시공간이 휘어진다고 주장하는 일반상대성이론을 내놓음으로써 근대적 우주관을 근본에서부터 뒤집은 것이다.

아인슈타인의 상대성이론은 전술한 바 2가지 가정과 특수·일반상대성이론의 방정식, 그리고 이 방정식들에 대한 해석으로 구성되어 있다. 상대성이론의 가정은 특수 상대성원리와 광속불변으로서, 이 가정과 방정식들이 결합되어 4차원 시공간연속체를 중심으로 한 아인슈타인의 우주관이 도출된 것이다.

아인슈타인의 이러한 아이디어와 연구 성과들은 거의 대부분 20-30대 소장 학자시절에 나왔다. 아인슈타인이 젊은 시절에 시공간 상대론자인 마흐(E. Mach)에 경도되어 있었다는 사실은 널리 알려져 있다. 아인슈타인은 일반상대성이론을 발표한지 몇 년 후(1918)에 쓴 논문에서 일반상대성이론에 채용된 세 가지 기본 원리 중 하나가 마흐의 원리였다고 밝혔다. 상대성이론 해설서에서도 마흐의 견해를 적극 옹호했다(Einstein, 1920).

마흐의 공간부재론과 아인슈타인의 특수 상대성원리는 깊은 연관이 있는데, 마흐가 절대공간의 존재를 부정하면서 우주의 모든 운동이 상대적이라고 주장했듯이 우주상에 공간이 존재하지 않고 물질들만 존재한다면 물질들의 운동은 기본적으로 상대적이 될 개연성이 높다. 19세기 말에 마흐가 뉴턴의 역학이 한계에 이른 것을 목도하면서 이런 개념으로 나아간 것처럼, 아인슈타인도 길이수축, 시간지연, 질량증가와 같은 현상(로렌츠변환)이 뉴턴의 절대공간, 절대시간 개념과 상합하지 않는다고 생각했을 것이다.

이 시기의 아인슈타인을 전기 아인슈타인이라고 한다면 전기 아인슈타인은 마흐의 관점을 따라서 절대공간과 절대시간이 부재한 우주를 생각하고 있었다. 그렇다면 유일하게 남는 것은 물질과 에너지이고 물질과 에너지는 등가임으로 궁극적으로 광의의 물질만이 존재하게 된다. 공간은 부재하고, 시간은 물질에 의존하며 사건의 순서에만 관여하는 것이다.

이런 점에서 전기 아인슈타인의 우주관은 상당히 간명하고 일관된 것으로 볼 수 있다. 물질들의 운동과 힘이 작용하는 장으로서 우주이다. 이 우주에서는 물질의 변화와 운동이 핵심이고 물질들 간의 관계가 본래적으로 상대적이다. 전기 아인슈타인의 우주관은 단조롭고 현실 경험세계와 뭔가 동떨어져 보이지만 큰 모순은 없어 보이는 세계이다.

그러나 후기 아인슈타인은 뉴턴의 공간실재론을 수용하게 된다. 그는 점차 자신의 이론이 마흐의 원리와 조화롭게 섞일 수 없음을 실감하게 되었고 만년에는 마흐의 원리를 포기하다시피 했다(Greene, 2004). 아인슈타인은 ‘고전역학에 따르면 그리고 특수상대성이론에 따르면 공간(공간-시간)은 물질이나 장과는 독립적으로 존재하는 것’이라고 인정한다(Einstein, 1952). 일반상대성이론과 관련하여서는 ‘공간이 물질이나 장에 의존하는 것’으로 보아야한다(Einstein, 1952)고 말하는데, 이는 공간과 시간의 존재를 수용한 것으로 볼 수 있다. 그것은 특수 상대성원리라는 가정의 기초를 뒤

흔드는 것이었으며 우주관의 큰 변화로 보지 않을 수 없다. 만년의 아인슈타인은 특수상대성이론이 시공간을 추상적 점들의 집합이며 이미 주어진 것으로 간주한다는 사실을 받아들이지 않을 수 없었다(Padova, 2013; Einstein, 1952).

그러나, 후기 아인슈타인은 공간이 물질과 독립적이든 아니든 우주에 존재하는 실체라는데 동의하였지만, 뉴턴의 절대공간을 수용하지 않았고 특수 상대성원리에 대한 신념을 바꾸지도 않았다. 그리고 이 곤혹스런 문제를 본격적으로 분석하고 재정립하지 않았다. 다만 실재의 공간적 특성을 이루는 것은 장의 4차원일 뿐이며 장이 없는 공간이란 없다고 결론지었다(Jammer, 1994).

이하에서는 후기 아인슈타인의 우주관을 중심으로 상대성이론의 우주관을 정리한다. 그것은 전반적으로 아인슈타인 자신이 설명한 것이지만 부분적으로는 상대성이론을 현대적으로 해석한 결과이기도 하다.

상대성이론에 의하면 우주는 ‘물질 및 에너지’와 시공간 등 서로 상호작용을 갖는 두 가지 요소로 구성되어 있다. 물질과 에너지는 서로 전환이 가능한 등가물임이 확인되었는바 이들은 본질적으로 동일하다. 이 사실은 아인슈타인의  $E=mc^2$ 이라는 에너지·물질변환식이 보여준다.<sup>6)</sup>

상대성이론에 있어서 시공간은 흔히 4차원의 시공간연속체로 불린다. 여기서 4차원이라는 것은 공간의 3차원과 시간의 1차원이 결합된 것으로서 공간과 시간이 별개가 아니라 서로 연속된 차원이자 통합된 구성체임을 의미한다. 뉴턴은 물질이 시간을 따라서 공간상에서 운동한다고 보았지만 아인슈타인은 물질과 에너지가 시공간 상에서 운동한다고 설명한다.

상대성이론에서 물질과 에너지가 우주의 일부를 형성하는 실체라고 한다면 시간과 공간도 우주의 구성 부분으로서 물리적 실체라고 할 수 있다. 시간과 공간이 물리적 실체인지 아닌지는 여전히 논란이 없지 않지만, 브라이언 그린은 대부분의 현대 물리학자들은 상대성이론이 시공간을 실체로 인정하고 있으며 아인슈타인 자신도 만년에 이를 사실상 수용하였다고 지적한다(Greene, 2004).<sup>7)</sup>

아인슈타인의 우주는 물질-에너지 등가성, 시간-공간 연속체에 그치지 않고 시공간과 물질의 상호작용으로 확장된다. 공간과 시간은 상호 연속적인 혼합물일 뿐 아니라, 시공간은 물질과 또한 상호작용을 갖는다. 아인슈타인의 우주론(상대성이론)에서는 물질이 시공간의 곡률을 결정하고 시공간은 다시 물질의 운동을 결정한다. 이를 흔히 물질의 중력이 시공간의 그물을 휘게 하거나 비틀며 물질과 빛은 휘어진 공간에서 운동한다고 표현한다.

이런 점에서 아인슈타인의 시공간은 항상 휘어 있다. 그의 시공간은 닫혀 있을 가능성이 높고 어느 특정 상황에서만 무한하다고 볼 수 있다(장회익, 2003). 시공간 상에는 절대기준이 없기 때문

6) 물질과 에너지가 상호 전환된다는 것은 19세기 물리학자들이 이미 밝혀낸 바이지만 이 방정식은 아인슈타인에 의해 정립된 것으로 알려져 있다.

7) 특수 상대성원리는 공간의 존재를 부정하는가. 특수 상대성원리 자체는 그러한 관점과도 상통할 수 있겠지만, 이 가정이 제출된 근거인 특수 상대성이론의 방정식은 공간의 존재를 기본적으로 요구한다. 왜냐하면 특수 상대성이론의 방정식인 로런츠변환식은 속력( $v$ ) 변수를 포함하는바, 속력은 거리와 시간의 함수로서 거리는 공간을 전제로 하기 때문이다. 가령 우주에 지구만 남고 모든 물적 천체들이 존재하지 않는다고 하더라도 우주선의 속력은 측정될 수 있는 것이다. 또 특수 상대성이론의 에너지·물질변환식( $E=mc^2$ )과 일반상대성이론 방정식에 빛의 속력  $c$ 가 포함되고 일반상대성이론에는 중력가속도가 변수로 들어 있는바, 이때 빛의 속력과 중력 가속도가 공간상의 거리에 대한 속력임은 만년의 아인슈타인도 현대 물리학도 동의하고 있는 것이다.

에 시공간 상에서 운동하는 물질과 에너지는 서로 상대적으로 운동할 뿐이다. 전자기파와 중력파는 모든 사물에 대해  $c$ 의 속도로 상대운동을 한다. 소위 광속불변이라는 가정이다. 물질들 역시 서로 상대운동을 하는 과정에서  $c$  이상의 상대속도를 가질 수 없다. 운동속력이 높아지면 로렌츠변환이 작용하기 때문이다. 그런데 특수 상대성원리에 의하면 운동은 서로 상대적이어서 관성운동에서라면 로렌츠변환이 실제로 어느 쪽에 작용하는지 알 수 없다.

후기 아인슈타인의 우주관은 혼란스럽고 난해하다. 로렌츠변환과 특수 상대성원리가 결합하고 여기에 실재하는 공간과 시간의 연속성, 장의 개념이 더해지면서 만들어낸 세계, 즉 4차원 시공간연속체와 휘어진 공간 개념은 우리를 ‘앨리스의 이상한 나라’로 데려 간다.

아인슈타인의 상대성이론과 우주관은 20세기 과학 분야에 지대한 영향을 미쳤다. 상대성이론의 방정식(로렌츠변환식, 에너지·물질변환식, 그리고 일반 상대성이론의 방정식)은 뉴턴의 중력방정식에 비견되는 현대물리학의 거대한 진보이자 성취라고 할 수 있다. 아인슈타인은 잘 알려진 것처럼, 현대물리학의 두 기둥 중 하나인 상대성이론을 정초하고 확립하였다는데 재론의 여지가 없다. 그것은 원자력에너지 사용, 빅뱅이론, 블랙홀 연구 등을 가져왔을 뿐 아니라 우주에 대한 인식을 바꾸어 놓았다. 상대성이론이 현대물리학의 두 기둥 중 하나가 된 것처럼 그의 우주모델도 현대 물리학적 사고의 기반이 되는 정상과학의 지위를 차지하고 있다. 그것은 또한 철학, 정치사상 등 인문사회학문 분야에 심원한 영향을 미쳤고, 문화나 건축 등 여타 분야에도 큰 파급효과를 가져왔다(김제완 외, 2005).

그러나 일반적으로 알려져 있는 바와는 달리, 아인슈타인의 이러한 우주관(특히 상대적 시공간론)이 현대 물리학의 정설로서 자리를 완전히 굳히고 있는 것은 아니다. 아인슈타인의 특수 상대성원리라는 가정과 4차원 시공간연속체설은, 상대성이론의 방정식에 준하는 권위를 부여받고 있고 사실 그보다 더 큰 영향을 미쳤다고 할 수 있지만, 여전히 증명되지 않은 가설로 남아 있으며 의문이고개를 들고 있다.

무엇보다도 후기 아인슈타인 자신이 공간의 존재를 수용하면서 자신의 우주관에 대한 확신을 잃어갔다는 사실에 주목할 필요가 있다. 그는 자신의 시공간론과 관련하여 ‘그러한 관점이 이후 관측 및 실험들을 견딜 수 있을지 확신할 수 없다’고 고백하였던 것이다(Einstein, 1952). 아인슈타인은 일반상대성이론이 완전히 상대적인 이론이 아니라는 사실을 알고 있었으며 그것을 결점으로 여겼다(Padova, 2013). 아인슈타인의 후계자(상대론자)들도 상대성이론의 방정식과 특수 상대성원리 간의 관계에 대해, 그런 상대적 이론이 궁극적으로 어떤 형태일지에 대해 여전히 답을 찾고 있다(Padova, 2013).

한편으로 상대성이론과 함께 현대 물리학의 양대 기둥을 형성하고 있는 양자역학은 상대성이론과 달리 외적 ‘절대시간’을 전제로 한다(Padova, 2013). 양자역학의 시간 개념은 매우 강력한 근거가 있으며, 본 연구도 이러한 시간 개념을 기반으로 하고 있다. 뉴턴의 절대시간 개념이 현대 물리학에서 완전히 폐기된 상태가 아닌 것이다. 최소한으로 말하더라도, 상대성이론의 상대적 시공간 개념이 현대 물리학을 완전히 지배하고 있지 못하다고 할 수 있다.

더하여 초끈 이론가들을 중심으로 한 과학적 실재론자들은 상대성이론이 상대공간이 아니라 절

대시공간을 지지한다고 본다. 브라이언 그린에 의하면 특수상대성이론이나 일반상대성이론의 관점에서 뉴턴의 물통은 절대시공간을 기준으로 회전하고 있다(Greene, 2004). 상대성이론의 시공간이 부재이거나 상대적 시공간이 아니라 절대적 시공간이라면, 특수 상대성원리라는 가정은 상당한 도전을 받고 있다고 할 것이다.

현대 우주물리학의 대표적 이론가인 손 캐럴은 다음과 같이 주장한다. 상대성이론이 가진 매끈한 결정론적 관점과 통계역학이 가진 지저분한 확률적 관점의 두 관점에서 시공간에 대해 우리가 알고 있는 것은 ... 우주에 관한 최상의 이론들이 당황스러울 정도로 미흡하다는 것이다. 우리는 이 책의 14개의 장에서 이 문제들을 다루었지만 이 14개의 답들 가운데 어느 것도 신빙성을 주기에 부족하다는 사실을 확인했다(Carroll, 2012).

말하자면, 상대성이론의 방정식은 수차에 검증되었고 타당성을 인정받고 있지만 상대성이론의 2가지 가정과 상대성이론의 해석으로서 시공간론은 여전히 의문의 대상이 되어 있는 것이다. 그간 검증된 사실은 상대성이론의 방정식들이며 이 방정식들에 대한 가정과 해석으로서 상대공간, 시공간의 연속성, 시공간의 왜곡이 아닐 수도 있다. 공간과 시간이 함께 좌표계를 형성하는 것은 수학적으로 충분히 가능하지만 그것을 현상 세계에 적용하는 것은 이론적, 경험적인 근거를 필요로 한다.

아인슈타인의 우주관은 오늘날 일반화되었음에도 불구하고 이 이론을 접하는 대부분의 사람들을 당황하게 만든다. 무엇보다도, 공간과 시간이 서로 연속적이며 하나의 시스템을 형성한다는 발상은 역설적인 주장이 아닐 수 없다. 그것은 우리의 직관이나 경험에 부합하지 않을 뿐 아니라 논리적 사고에도 혼란을 느끼게 한다. 예컨대 3차원 공간과 1차원의 시간이 서로 혼합적으로 경험되는 경우가 없을뿐더러, 그것들의 성질이 완전히 상이하기 때문에 초현실주의 화가 달리의 그림 세계가 아니고서는, 혹은 의식이 몽롱한 상태가 아니라면 상상조차 쉽지 않은 것이다.

아인슈타인의 특수 상대성원리도 한편으로 공리처럼 자명해 보이거나 다른 한편으로는 우리의 직관과 논리구조에 부합하지 않는다. 또한 이러한 모순적 상황을 간명하게 해명함으로써 전문가들이나 일반인들을 이해시키는데도 결코 성공적이지 못했다.<sup>8)</sup> 아인슈타인은 2차원 평면을 기어가는 벌레가 3차원 공간을 상상하기 어려울 것이라는 비유로서 인간 인식의 한계를 지적하지만, 인간은 벌레보다 지적 상상력과 추상적 능력이 월등하다. 물체의 운동이나 중력에 의해 길이수축, 시간지연, 질량증가가 발생한다는 것은 어느 정도의 물리학적 지식을 갖추면 이해할 수 있다. 하지만 두 좌표계 사이의 절대적 기준을 제거한 특수 상대성원리와 시공간을 융합시킨 4차원 시공간연속체론은 경험적, 논리적으로 납득하기 어려운 것이다.

특수 상대성원리와 관련된 현대물리학의 논의들을 종합해 보면, 특수 상대성원리와 상대공간 개념이 현대물리학의 정상과학으로서 지위를 인정받고 있지만 그것이 확고하지만은 않으며 그에 대한 도전도 만만치 않다고 할 것이다. 그리고 그와 관련된 시공간연속체 개념에 대해서도 여전히 광범위한 논란이 존재하며 이 가설이 충분히 검증된 해석이거나 이론이라고 하기는 어려운 실정이다.

8) 우주선과, 우주선 외부 세계에 있어서 질량증가, 길이수축과 시간지연은 실제인가 아니면 겉보기 효과에 불과한 것인가? 이 단순한 문제에 관해서도 학자들마다 설명이 상이하며 전문 서적들 간에도 차이가 있다. 유명한 쌍둥이 역설 문제도 전문 서적이거나 전문가들마다 설명이 상이하다.

### 3.3 우주·공간·시간에 대한 본연구의 관점 : 주요 가설

본 연구의 관점은 뉴턴의 우주관과 아인슈타인의 우주관을 전향적으로 통합한 것이라고 할 수 있다. 그것은 두 관점을 단순히 조합한 것이라기보다는 현대과학의 성취를 반영하고 본 연구의 사고 실험들을 고려하여 전체적으로 재구성된 것이다. 즉, 뉴턴으로부터 절대공간 개념을 수용하고 상대성이론 이후 확인된 물질과 에너지의 등가성, 운동 및 중력에 의한 물질의 길이 및 질량변화, 시간 지연 효과 등을 포섭한 새로운 시공간 모델이다.

우리는 우주가 기본적으로 물질 및 에너지와 절대공간으로 구성되어 있다고 생각한다. 물질 및 에너지는 상호 변환이 가능한 등가의 것이다. 그런 점에서 이들을 통합하여 광의의 물질이라고 할 수 있다. 물질과 에너지는 우주를 구성하고 우주 안에서 변화하고 운동하는 물리적 실체이다.

절대공간은 물질과 에너지를 담고 있는 그릇이자 뉴턴이 회전하는 물통실험을 통해 입증한 절대좌표계이다. 절대공간은 단순히 비어있는 무의 존재가 아니라 매우 특징적인 성질을 가진 실체이며 이에 관해서는 뉴턴의 우주관에서 이미 설명한 바 있다. 이 절대공간에 들어 있는 물질과 에너지는 공간의 원리와 성질에 완전히 규정된다.

이 연구가 보는 우주의 시간은 모든 물질에 대해 동일하게 진행되는 뉴턴의 절대시간이 아니다. 시간은 물질이 가지는 기초진동(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)은 절대공간에 대해  $c$ 의 속력으로 운동하며 물질의 운동에 대해 관성을 가지지 않는다.

가설 3. 질량을 가진 물질(이하 물질)은 절대공간에 대해 다양한 속도로 운동하며 관성력을 가진다.

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

가설 5. 물질은 절대공간 상에서의 운동속력과 중력에 따라서 물질 자체에 내재된 기초진동이 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 로렌츠변환식 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.

이 가설은 뉴턴의 절대공간 개념과 완전히 일치한다. 공간은 고정된 절대 좌표계로서 공간상에 존재하는 모든 물질과 에너지의 운동의 기준이 된다. 이 점은 뉴턴이 회전하는 물통이라는 사고실험을 통해 입증한바 있다. 공간은 물질이나 에너지와는 독립적으로 존재하며 물질로부터 어떠한 영향도 받지 않는다. 에테르나 암흑물질, 암흑에너지 등의 존재 여부와도 무관하다. 에테르나 암흑물질이 존재한다고 하더라도 그것은 물질일 뿐이다. 공간은 완전히 비어 있지만 다양한 자체적인 성질을 가진다(2.1 뉴턴의 우주관 참고). 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), 중력과 등이 공간상에서 퍼져나갈 때 거리의 제곱에 반비례해서 약화되는바 이는 공간이 3차원임을 확인해 준다. 우리는 관찰과 경험, 그리고 논리적 사고로부터 과학적 지식을 구축해 왔다. 아인슈타인의 특수 상대성원리와 그로부터 전개된 이론을 제외한 모든 관찰과 경험 그리고 논리적 사고는 우주 공간이 3차원이라는 사실을 지지한다.

### 가설 2. 빛(전자기파)은 절대공간에 대해 $c$ 의 속력으로 운동하며 물질의 운동에 대해 관성을 갖지 않는다.

빛(전자기파)과 중력은 에너지의 일종이다. 에너지는 물질과 상호 변환되며 따라서 광의의 물질이다. 다만, 물질은 질량과 부피를 가지지만 에너지는 그러한 것을 갖지 않는다.

에너지는 질량과 부피를 가지지 않는바, 그 결과 공간상에서 특이한 운동을 한다. 에너지의 공간상 흐름(에너지파)으로서 빛(전자기파)과 중력은 절대공간에 대해 절대운동을 한다. 빛 등은 진공 상태에서 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 것과 연관되어 있을 것이다. 특수상대성이론과 로런츠변환의 방정식에 의하면 물질의 운동은 질량을 증가시키고 질량의 증가는 운동속력을 제한한다.

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. 이는 매우 중요한데 질량을 가진 물질은 관성운동을 하고 관성계를 형성하지만 질량을 가지지 않는 에너지(파)는 관성운동을 하지 않으며 관성계를 구성하지 못하는 것이다.

절대공간에 대해 빛의 속력이  $c$ 로 일정하다는 사실과 빛의 속력이 항상  $c$ 로 측정되는 것은 관련성이 없지는 않지만 서로 구별되는 문제이다. 상대속도로서 빛의 속력이 일정하게 측정되는 것은 빛의 왕복운동을 측정한데다, 물질의 길이수축, 시간지연 효과가 합성된 결과이다. (이하 사고실험들에서 이 문제를 자세히 분석하겠지만 참으로 기이하고도 교묘한 현상이 아닐 수 없다!)

만약 빛의 일 방향 속도를 측정할 수 있다면 관측자의 운동 상태에 따라서 빛의 상대속도는  $c$ 를 초과하거나  $c$ 보다 작을 것이다. 이런 점에서 이 연구는 절대공간의 관점에서 특수상대성이론의 광속불변(빛의 상대속도 일정) 가정을 부정한다.

### 가설 3. 물질은 절대공간에 대해 다양한 속도로 운동하며 관성력을 가진다.

질량을 가진 물질(이하 물질)들은 빛이나 중력과 마찬가지로 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. 그 결과, 물질의 운동은 그것과 연관된 여타의 물질의 운동에 영향을 주게 된다.

이러한 물질의 관성운동으로 인해 물질은 관성계 혹은 좌표계를 형성한다. 예컨대 등속운동을 하는 우주선은 하나의 관성계를 형성한다. 하지만, 이 관성계에는 물질만 포함되며 전자기력이나 중력과 같은 에너지 흐름(에너지파), 그리고 시공간은 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 특수 상대성원리는 관성계 간의 완전한 상대성을 주장함으로써 관성계에 물질, 에너지, 공간 나아가 시간이 포함되는 것으로 가정한다. 특수 상대성원리는 관성계를 절대화하는 논리로서, 운동하는 물체가 형성한 관성계를 완전히 별개의 장(우주)을 형성한 것으로 파악하는 것이다. 그리고 운동하는 물체의 관성계(혹은 좌표계)와 나머지 전체 우주 사이에서 운동 상태를 구별할 수 있는 기준이 없다고 주장한다.

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

물질은 절대공간 상에서 운동하는 방향으로 길이가 수축된다. 물질의 길이는 절대공간에 대한 물질의 운동속력이 빠를수록 보다 많이 수축된다. 그것은 에테르나 암흑물질의 존재와 무관하다. 이

러한 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 생각된다. 원자 자체는 극소량의 물질과 대부분의 빈 공간으로 구성되어 있으므로 특정 방향으로 힘을 받는 경우 형태가 수축될 수 있다고 판단된다.

**가설 5. 물질은 절대공간 상에서의 운동속력과 중력에 따라서 물질 자체에 내재된 진동이 느려지며, 그에 따라 시간지연이 발생한다.**

물질(과 에너지)은 물질 자체에 내재된 진동(혹은 파동)을 가지며, 시간은 물질에 내재된 자체적인 진동 및 진동과정을 의미한다. 물질의 진동수는 양자역학에서  $E=\hbar\omega$ 의 진동수  $\omega$ 로 표현되며, 그런 점에서 양자역학은 외적 ‘절대시간’ 개념을 가지고 있다고 할 수 있다(Padova, 2013).

본 연구는 4차원 시공간연속체로서 아인슈타인의 시간 개념이 아니라 양자역학의 시간 개념을 기본적으로 채택한다. 하지만 로렌츠변환과 상대성이론의 시간지연 효과를 수용하는바, 물질의 진동수가 물질의 운동과 중력에 따라 달라진다고 간주한다. 진동주기는 절대공간에 대한 물질의 운동속력이 빠를수록 중력이 강할수록 느려진다.

물질의 기초진동은 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 기초진동이 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 공간과 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 바이거니와 아인슈타인의 특수상대성이론이 정리한 중요

한 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 판단한다. 그것은 시간지연이나 길이수축이 발생하는 원리와 동일하며, 현상계에서 보이는 겉보기운동(상대운동)이 아니라 절대공간에 대한 운동속도와 중력의 크기가 물질의 질량변화에 영향을 주는 요인변수이다.

한편으로, 물질의 운동속력과 중력이 물질의 질량에 영향을 준다는 사실은, 그것에 의한 길이수축, 시간지연에 있어서도 물질에 영향을 미친 결과일 것이라는 심증을 갖게 한다. 전술한 바와 같이 물질의 운동과 중력이 물질 자체에 영향을 주어 물질의 길이수축, 물질의 진동수 변화, 물질의 질량증가를 일으킨다고 한다면 (그것은 우리의 직관이나 논리적 사고에 부합한다.) 물질의 질량증가 효과는 그러한 해석의 한 단초가 된다.

**가설 7. 절대공간 상에서의 운동 및 중력에 따른 물질의 길이수축, 시간지연 그리고 질량증가의 비율은 로렌츠 변환식 및 일반상대성이론의 방정식과 일치한다.**

본 연구는 아인슈타인의 특수상대론이나 일반상대론의 방정식이나 예측들을 기본적으로 수용한다. 가설 5, 6, 7은 공간상에서 운동을 하거나 중력을 받은 물질은 길이수축, 질량증가, 시간지연 현상을 일으킨다는 상대성이론을 수용한 것이며, 나아가 우리는 특수상대성이론이 로렌츠변환식을 차용하고 있는바 물질의 길이수축, 시간지연 그리고 질량증가의 비율이 로렌츠변환과 일치한다고 간주한다. 가속도 운동이나 중력 하에서는 일반상대성이론의 방정식과 일치한다. 실제로 아인슈타인의 특수·일반상대성이론은 그간 수차에 걸쳐 검증되었으며 최근에는 블랙홀 충돌의 중력파를 검증함으로써 일반상대성 이론도 과학계의 정설로서 지위를 더욱 굳혀가고 있다.

다만, 이 연구가 아인슈타인의 특수·일반상대성이론에 대해 제기하는 의문 및 비판은, 그것이 반드시 특수 상대성원리를 필요로 하느냐 하는 것이다. 우리는 상대성이론이 특수 상대성원리를 필요로 하지 않으며 나아가 특수 상대성원리 혹은 상대공간이라는 가정이 상대성이론에 대해 모순적이라고 판단한다. 상대성이론의 질량증가, 길이수축, 시간지연은 물질 자체에 나타나는 현상이며 공간은 물질의 운동이나 중력에 의해 변형되거나 반응하지 않는다는 것이다. 따라서 공간은 시간지연과 무관하고 시공간은 연속적이지 않다. 말하자면, 이 연구는 뉴턴이 주장하는 절대공간의 관점을 지지하며 길이수축, 시간지연 그리고 질량증가 현상을 절대공간 상에서의 물질의 운동이 가져오는 물질 자체의 변화로 파악한다. 그리고 이런 관점에서 상대성이론의 모든 현상과 원리가 설명될 수 있음을 논증한다.

### 3. 사고실험을 통한 가설의 검증

#### 3.1 특수 상대성원리(상대공간)의 모순과 절대공간의 타당성

본 연구는 상대성이론의 방정식이 타당하며 사실상 완벽하게 입증되었다는 관점에서 출발한다. 앞에서 제안된 본 연구의 기본 가설 중 상당수가 상대성이론과 로렌츠변환을 수용한 것이다.

그러나 아인슈타인이 제안한 특수 상대성원리(상대공간)라는 가정과 상대성이론에 대한 해석으로서 시공간연속체 모델은 검증되지 않은 가설로 받아들인다. 상대성이론의 방정식이 검증되었다고 해서 그와 관련된 가정과 해석의 타당성이 자연적으로 보증되는 것은 아니다. 아인슈타인 자신조차도 특수 상대성원리와 시공간모델이 향후의 경험적 검증을 견뎌낼 수 있을지 의문이라고 고백한 바 있다(Einstein, 1952).

전기 아인슈타인의 관성계 개념이 공간과 시간이 존재하지 않는 마흐의 우주론에 입각해 있었다면, 공간과 시간을 물리적 실체로 수용한 후기 아인슈타인은 시공간을 포함하는 관성계 개념을 통해 자신의 특수 상대성원리(상대공간)를 설명하였다. 등속운동을 하는 물질들이 하나의 관성계를 형성한다면, 운동하는 물질들의 관성계(혹은 좌표계)에 물질과 함께 공간과 시간이 포함된다는 것이다. 즉, 관성계마다 물질과 공간, 시간이 함께 별개의 시스템을 구축한다는 논리이다. 그것은 공간이 고정되어 있고 물질들만이 공간상에서 운동한다고 보는 갈릴레이-뉴턴의 시공간관과 역학 개념을 뛰어넘는 것이다.

이러한 특수 상대성원리는 일반적인 직관에 반하며 여러 점에서 의문점을 내포하고 있다. 달리는 기차와 그 외부세계 중 어느 쪽이 실제로 운동하는지 구분할 수 없다는 아인슈타인의 가정은 경험적으로나 상식적으로 우리의 감각에 부합하지 않는다. 기차에 타고 있는 사람이 자신이 움직이는지 외부세계가 움직이는지 분간하기 어렵다고 해서 실제로 기차가 달리는지 외부세계가 반대방향으로 운동하는지 판단할 아무런 기준도 없는 것일까? 기차 1대가 달려가는 것이 우주 전체가 반대 방향으로 운동하는 것과 동일하다고 할 수 있을까?

우리는 이 문제와 관련하여 다양한 사고실험을 제시하며 이를 통해 특수 상대성원리와 상대공간 개념을 반박한다. 먼저 아인슈타인의 동시성 실험을 변형한 2가지의 사고실험을 제시한다. 그리고 마이컬슨몰리실험과 관련된 4개의 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 특수 상대성원리는 설득력을 잃을 것이다.

더하여 달리는 기차에서 본 외부 시계에 관한 사고실험을 통해 운동하는 물체의 시간만이 지연되며 외부의 시계는 지연되지 않음을 논증한다. 쌍둥이역설 문제에 대한 분석에서는 이 문제가 여전히 모순으로 남아 있으며, 특수 상대성원리를 부정하면 쌍둥이역설의 모순이 해소됨을 밝힌다. 이 밖에도 질량증가의 상대성 문제, 가속도 운동에서의 관성력 문제 등을 검토하여 우주공간이 상대성원리가 작용하는 상대공간이 아니라 물질과는 별개로 존재하는 절대공간임을 입증할 것이다.

### 사고실험 1-1 : 준광속 기차의 시계 비교(1)

이 사고실험은 아인슈타인의 동시성 실험과 거의 동일한 조건을 활용한다. 아인슈타인은 동시성 문제를 설명하기 위해 준광속으로 달리는 기차에서의 빛의 운동을 예로 든 바 있다(보다 자세한 내용은 사고실험 2-2 참조).

앞뒤로 매우 길고 광속에 가까운 속력으로 달릴 수 있는 기차가 있다고 해보자. 이 기차의 맨 앞과 뒤에 시계 A, B를 서로 마주보게 부착한다. 그리고 기차의 중앙에 전등(혹은 레이저 장치)을 설치한다. 중앙의 전등은 시계 A, B로부터의 거리가 정확히 동일하다(그림 1-1 a 참조).

기차가 정지해 있을 때 기차의 한 가운데 위치한 전등을 켜다. 전등 빛이 시계에 닿으면 광전효과에 의해 시계가 작동하기 시작한다. 이제 기차를 출발시켜서 속도를 점점 더 높인다. 기차의 속력이 광속의 절반에 이르러 등속운동을 하고 있을 때 전등불을 끈다. 전등불이 꺼지면 광자의 흐름이 끊어져서 마지막 광자가 시계의 광전판에 닿는 순간 시계가 작동을 멈출 것이다(그림 1-1의 c, d 참조).

시계 A, B가 작동을 정지한 후 이것들을 한 곳으로 가져와서 시간이 서로 일치하는지 비교해 보자. 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.

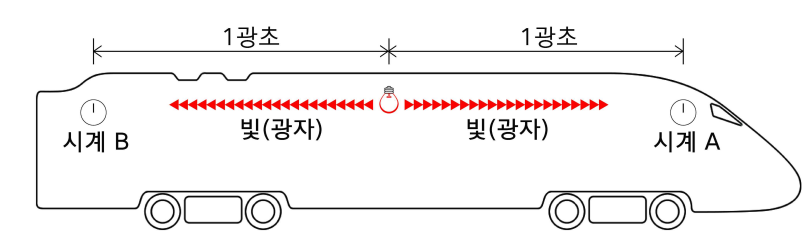
이는 기차에 타고 있는 사람이 기차 외부 세계가 아니라 기차 자체가 운동한 것을 확인할 수 있는 간단한 (실제로 실험하기는 대단히 어려운) 방법이다. 기차가 운동하지 않고 외부세계가 반대로 이동했다면 기차 안의 시계들 간에 이러한 시간 차이가 일어날 수 없기 때문이다.

그리고 두 시계 간의 시간 차이를 보면 기차가 어느 방향으로 달리고 있는지 그리고 그 속력이 얼마인지 알 수 있다. 만약 시계 A, B 간 거리가 2광초(light second)이고 두 시계가 1초의 차이를 보인다면, 이 기차는 시간이 늦은 시계 방향으로  $0.5c$ 의 속력으로 운동하고 있었다고 판단할 수 있다. 이는 마지막 전등 불빛이 시계 A에 닿는데 걸리는 시간  $1.5\text{초}(1\text{광초} \times \sqrt{3/2} \times 2 \times \sqrt{3/2})$ 에서 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.

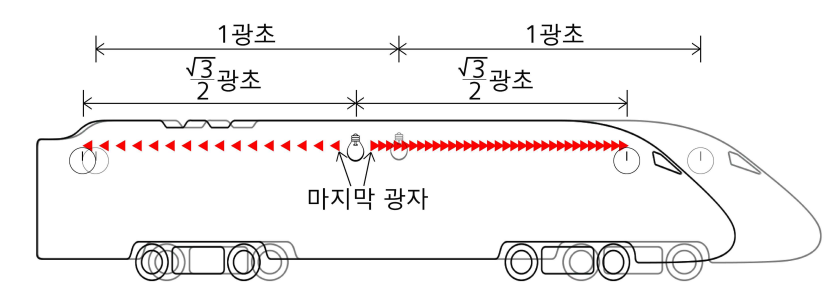
참고로 이 사고실험과 아인슈타인의 동시성실험 사이의 차이를 비교해 보자. 동시성실험에서는 양쪽 거울에 반사된 빛(혹은 기차 앞뒤의 번갯불)이 기차 승객에게 보이는 과정을 분석한다. 그런데 이 사고실험은 기차 내 중앙전등의 불빛이 기차의 앞과 뒤에 부착된 시계에 도달하는 시간을 분석한다. 두 사고실험의 분석과정과 내용은 사실상 동일한데, 아인슈타인은 이를 활용하여 기차 내부와 기차 외부에 있어서 동시성 문제를 설명한 것이고, 이 실험에서는 기차 내 시계의 시간 차이를 분석한 것이다.

그림 1-1 준광속 기차의 시계 비교(1)

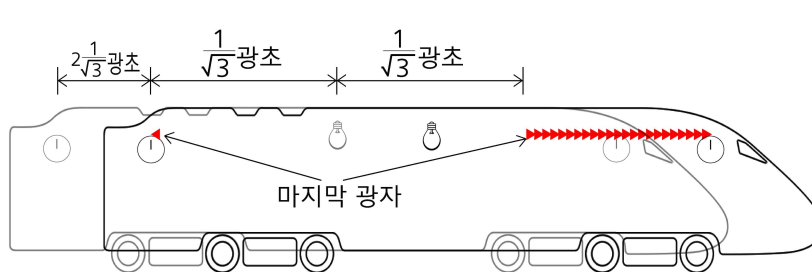
- a. 기차가 정지해 있을 때 전등을 켜 -> 광자가 시계에 닿으면 시계가 작동하기 시작함



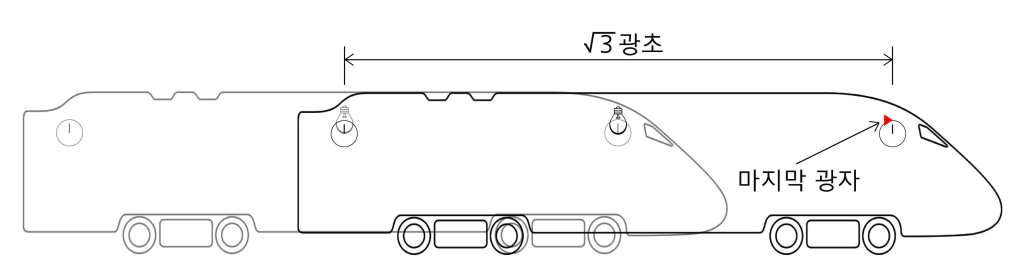
- b. 기차 속력이 광속의  $1/2$ 이 됨 -> 기차의 길이가  $\sqrt{3}/2$ 으로 수축됨 -> 전등의 불을 끄



- 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 : 준광속 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)

두 시계의 시간을 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 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 특수 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.

참고로 필자가 이 사고실험을 설명했을 때, 이 시계 비교 실험에 대해 의문을 제기하는 전문가들이 있었다. 기차를 멈추는 과정에서 가속도 운동이 발생할 것이고 그 과정에서 두 시계에 어떤 각기 다른 영향을 미칠 수 있지 않겠냐는 것이다.

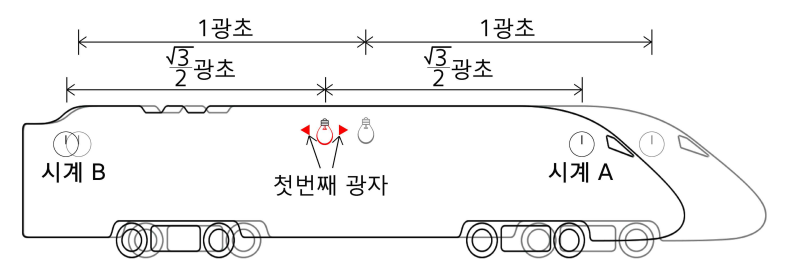
이 질문에 대한 필자의 대답은 다음과 같다. 기차의 감속과정에서 발생한 가속도 운동이 (중력에 의한 시간지연을 일으켜서) 시계의 진행에 영향을 미치겠지만 그것은 두 시계에 동일한 영향을 줄 것으로 간주할 수 있다는 것이다. 두 시계가 기차의 앞과 뒤에 설치되어 있었을 뿐 운동속력에 차이가 없었기 때문에 두 시계의 진행에 서로 다른 영향을 미칠 것이라는 근거가 없다고 할 것이다.

이와 관련하여 상대성이론을 검증하기 위해 두 대의 비행기에 원자시계를 각각 싣고 지구를 서로 반대 방향으로 비행한 실험을 떠올리게 된다. 이 경우에는 비행기의 속력이나 고도 등에 상당한 차이가 있었지만 실험결과가 인정된 바 있다. 그런데 같은 기차에 실린 시계라면 비록 가속도 운동이 있었다 하더라도 동일한 운동을 한 것으로 보아야 할 것이다.

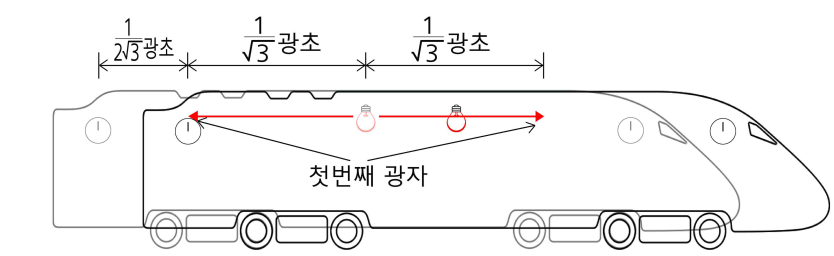


그림 1-2 준광속 기차의 시계 비교(2)

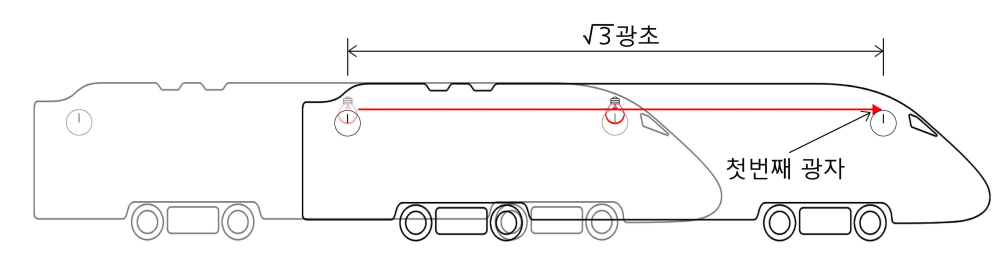
- a. 기차가  $1/2c$ 의 속력으로 달릴 때(기차의 길이  $\sqrt{3}/2$ 으로 수축), 중앙 전등의 불을 켜



- 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

### 사고실험 1-3 : 우주선에서 총과 레이저 쏘기

날아가는 우주선에서 외부로 총을 쏘는 경우와 레이저 빛을 쏘는 경우를 비교해 보자. 이 때 우주선의 총들은 우주선의 옆면에 장착되어 우주선의 진행과 수직방향으로 쏘는 것으로 가정한다.

먼저,  $0.5C$  속력으로 등속운동을 하는 우주선에서 일반 총을 연속해서 쏘는 경우를 생각해 보자. 그림 1-3 a에서 보는 것처럼 총알은 우주선과 평행하게 날아간다. 총알의 운동에 있어서 우주선의 관성력이 작용하기 때문이다. 이때 우주선에서 보면 총알이 우주선 진행방향과 수직을 유지하는 것으로, 즉 우주선의 옆으로 일렬로 날아가는 것으로 보인다. 그러면 우주선 옆면에 부착된 레이저 광선총을 연속해서 쏘면 어떻게 될 것인가. 레이저 광선의 광자는 광선총 총구로부터 발사되어 곧바로 직진으로 날아가며 우주선과 함께 관성운동을 하지 않는다.<sup>9)</sup> 우주선이  $0.5C$ 의 속력으로 날아가고 있다면 우주선에서 보면 레이저 빛이 우주선의 후방  $63.4^\circ$ 로 날아가는 것으로 보일 것이다.

이번에는 우주선에서 일반 총이든, 레이저 광선총이든 1발만 쏘는 경우를 가정해 보자(그림 1-3 b 참조). 일반 총을 쏘 경우, 총알은 우주선에서 멀어지는 한편으로 우주선과 같은 방향으로 날아간다. 우주선 밖에서 보면 총알이 우주선의 진행방향으로 비스듬히 날아가는 것으로 보일 것이다. 하지만 우주선 내부에서 보면 우주선의 진행방향에 대해 수직으로 날아갈 것이다.

다음으로  $0.5C$ 의 속력으로 날아가는 우주선에서 레이저 광선총을 아주 짧은 순간 격발한다고 해보자. 말하자면 광자를 1개만 쏜다. 레이저 빛(광자)은 광선총의 총구를 떠나 우주선의 진행방향에 대해 수직으로 날아갈 것이다. 외부에서 보면 빛(광자)이 우주선의 진행에 대해 수직방향으로 날아가는 것으로 관측된다. 이에 대해 우주선 안에서 보면 빛(광자)이 우주선의 진행방향에 대해 수직이 아니라  $63.4^\circ$  뒤쪽으로 날아가는 걸로 보일 것이다.

이 사고실험들은 우주선 내에서 자신의 우주선이 운동하고 있음을 알게 해 준다. 만약 우주선이 정지해 있고 우주선을 제외한 나머지 우주가 반대편으로 운동하고 있다면 우주선에서 쏜 총알 뿐 아니라 레이저 빛도 옆으로 곧게 날아가는 것으로 보일 것이기 때문이다.

이 사고실험에 대해 다소라도 의구심을 가지는 이들을 위해서 다음의 사고실험을 추가한다. 즉, 우주선 한가운데에서 수류탄이 터지는 경우와 전등을 순간적으로 켜다가 끄는 경우를 비교하는 것이다(그림 1-3 c 참조). 수류탄이 터진다면 파편들이 ‘우주선과 함께 날아가면서’ 사방으로 흩어질 것이다. 이때 파편들은 우주선의 전후 그리고 상하좌우의 내벽에 동시에 충돌한다. 이는 물질이 우주선과 함께 관성운동을 하기 때문에 나타나는 현상이다.

그러나 우주선 내 전등불을 순간적으로 켜다가 끄면 전등 빛의 광자들은 ‘우주선과 함께 운동하지 않고’ 전등이 켜진 시점의 위치에서 사방으로 퍼져 나간다. 그래서 우주선의 뒤쪽으로 날아간 광자가 우주선의 뒤 벽에 먼저 닿게 되고 앞쪽으로 날아간 광자는 나중에서야 우주선의 앞 벽에 닿게 된다(사고실험 1-2 참조). 그리고 우주선의 수직 방향이나 다른 방향으로 날아간 광자들은 뒤쪽으로

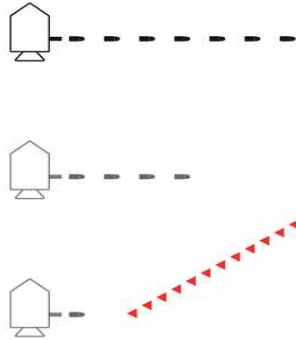
9) 빛 등 전자기파의 운동은 물질의 운동에 대해 독립적이며 운동관성의 영향을 받지 않는데, 이는 달리는 기차나 날아가는 우주선에서 앞을 향해 빛을 쏘든지 뒤쪽으로 빛을 쏘든지 빛의 속력이 일정하다는 사실로부터 확인된다. 그 이유는 명확하지 않지만 빛 등 전자기파가 질량을 가지지 않기 때문일 것이다. 이에 대해 갈릴레이의 관성계를 구성하는 (질량을 가진) 물질들은 등속의 관성운동을 할 경우 정지관성, 운동관성을 가지며 가속도운동에서 관성력을 갖는다.

날아간 빛보다는 늦게, 앞으로 날아간 빛보다는 빨리 내벽에 닿을 것이다. 빛의 운동이 광원의 운동에 영향을 받지 않는다는 것은 이미 증명된 사실이다(주9 참조).

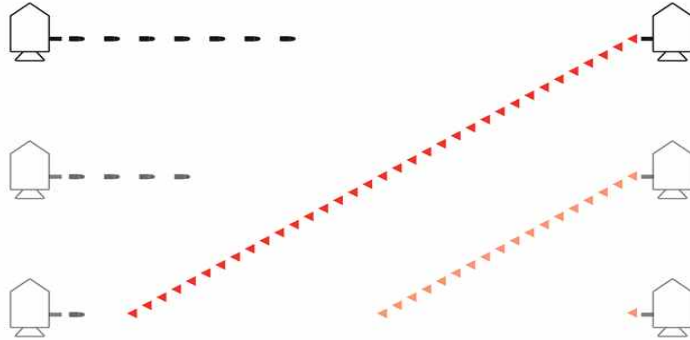
그림 1-3 우주선에서 총과 레이저 쏘기

a. 우주선에서 총과 레이저를 연속적으로 쏘는 경우

우주선에서 일반 총을 쏘는 경우

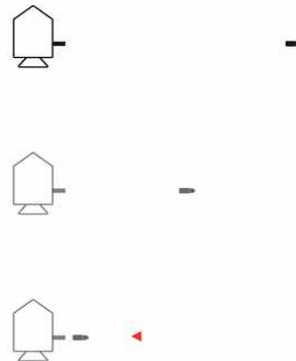


우주선에서 레이저 광선총을 쏘는 경우



b. 우주선에서 총알과 레이저 광자를 1발씩 쏘는 경우

우주선에서 일반 총을 쏘는 경우

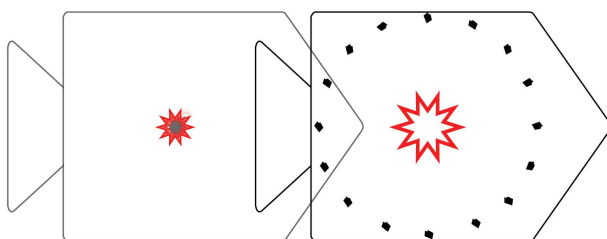


우주선에서 레이저 광선총을 쏘는 경우

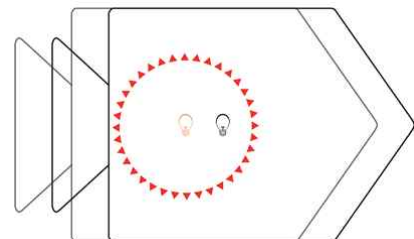


c. 우주선 내에서 수류탄 폭발과 중앙전등 켜기

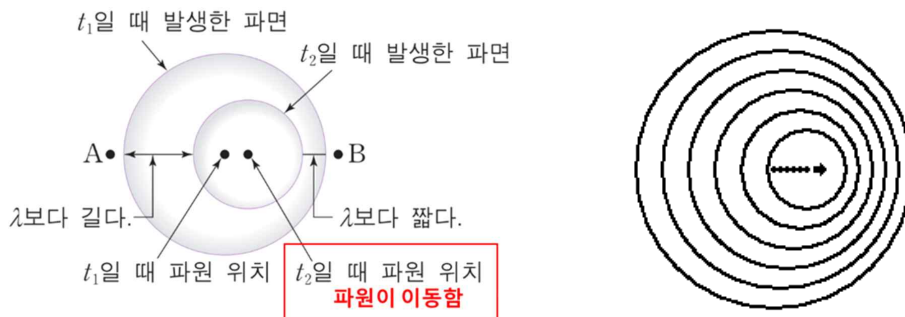
우주선의 한 가운데에서 수류탄 폭발



0.5c로 날아가는 우주선에서 중앙전등 켜기



## d. 광원의 이동과 빛의 파면



출처: <http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=laonple&logNo=220953902856&categoryNo=0&parentCategoryNo=0&viewDate=&currentPage=1&postListTopCurrentPage=1&from=postView>

그림 1-3 d는 빛의 도플러효과를 설명하기 위해 제시된 것인데 광원의 이동에 따른 빛의 파면 형성을 보여준다. 이 그림에서 빛은 광원의 운동에 상관없이, 발생지점에서 사방으로 퍼져나가는 것으로 보인다. 그 결과 광원이 이동하는 방향으로 빛의 파장이 짧아지고 파동수가 증가하는 도플러효과가 일어나는 것이다.

이 설명에 대해 다음의 반론이 제기될 수 있다. 광원의 운동이 빛의 속력에 영향을 미치지 못하지만 빛의 운동방향에 영향을 줄 수 있다는 것이다. 광자가 질량이 없더라도 운동량을 가지며, 그렇기 때문에 총알의 경우와 마찬가지로 우주선이 날아가는 방향으로 관성운동을 할 것이라는 논리이다.

이러한 관점이 흥미롭긴 하지만 그것이 가능하기 위해서는 광자들이 광원의 관성력에 이끌려 방향을 전환하면서도 속력을 일정하게 유지해야 하는 모순적인 상황이 발생한다. 예컨대 광원의 운동에 대해 반대쪽으로 날아가는 광자는 광원의 운동에 이끌리면서도 반대방향으로  $c$ 의 속력을 유지하면서 날아가야 하는 것이다.

더하여 빛이 광원의 운동에 대해 관성운동을 한다고 한다면 별빛의 밝기(광도)와 관련하여 다음의 문제가 발생할 수 있다. 이 경우 지구 쪽으로 다가오는 별빛은 밝게 되고 지구에서 멀어지는 별빛은 어두워져야 한다. 특히 지구에서 빠른 속도로 멀어지는 별의 밝기는 상당한 영향을 받을 것이다. 그런데 별빛의 밝기에 영향을 주는 요소로서 이러한 현상은 제기되거나 입증된 바 없다. 일반적으로 지구로 다가오는 별의 빛이 본래의 광도 보다 밝게 보이고, 멀어지는 별의 빛이 어둡게 보이는 것은 도플러효과로 설명한다.

광자는 질량을 가지지 않을 뿐 아니라 광자가 발생하여 운동을 시작했을 때 비로소 운동량을 가지기 때문에, 우리는 광자가 광원으로부터 관성력을 전달받지 않는다고 생각한다. 광자가 운동방향이나 속력 등 모든 점에서 광원의 운동과 무관하게 운동한다는 것이다. 이 경우, 그림 1-3 c, d의 그림은 명료하게 이해된다.

#### 사고실험 1-4 : 준광속 기차의 천정 거울에 레이저 쏘기

달리는 기차 안에서 공을 던지는 것과 빛을 비추는 것이 어떻게 다른지는 많이 알려져 있다. 100km/h의 속력으로 달리는 기차에 탄 사람이 공을 전후방으로 던진다고 해보자. 중력을 고려하지 않을 경우, 기차 안에서 볼 때 공을 전방으로 20km/h로 던지면 공의 속력이 20km/h가 되고 후방으로 20km/h로 던지면 공의 속력이 역시 20km/h가 된다. 이를 기차 외부에서 보면 기차 안의 사람이 전방으로 20km/h로 공을 던지면 공의 속력이 120km/h가 되고 후방으로 20km/h로 던지면 80km/h가 된다.

그러면 기차 안에서 레이저 빛을 전후방으로 쏘 경우에는 어떻게 될까? 기차 외부에서 볼 때 레이저 빛의 속력은 기차의 운동방향과 관계없이 항상  $c$ 가 된다. 현대 물리학은 빛(전자기파)이 광원의 운동과 관계없이 일정한 속도를 갖는다는 사실을 밝혀냈다. (본 연구의 가설 2는 이러한 현상을 빛이 물체의 운동에 대해 관성을 가지지 않기 때문으로 해석한다.)

이번에는 달리는 기차에서 공을 위로 던지는 경우를 생각해 보자. 달리는 기차에서 공을 위로 던지면 기차 안에서 볼 때 공이 수직 위로 올라갔다가 떨어진다. 만약 중력이 없는 상태라면 공은 수직으로 상승해서 천정에 부딪힌 후 수직 낙하할 것이다. 그리고 기차 밖에서 보면 중력이 있는 경우 공이 포물선을 그리면서 올라갔다가 떨어질 것이고, 중력이 없는 경우에는 사선을 그리며 상승하여 천정에 부딪힌 후 낙하하는 것으로 보일 것이다. 그것은 기차의 속력이 아무리 빨라지더라도 동일한데, 질량을 가진 물질은 관성운동을 하기 때문이다.

그렇다면, 기차 안에서 레이저 빛을 천정에 부착된 거울에 쏜다고 해보자. 만약 기차가 멈춰 있다면, 기차의 수직 천정을 향해 레이저 빛을 쏘면 천정에 부착된 거울에 빛이 반사되어 원점으로 돌아올 것이다. 이는 기차 안팎에서 동일하게 관찰된다(그림 1-3 a 참조). 달리는 기차라고 하더라도 기차의 속력이 느리거나 일반적인 수준이라면 기차가 정지해 있을 때와 별 차이가 없을 것이다. 하지만 기차의 속력이 대단히 빨라져서 광속에 가깝게 되면 상황은 달라진다.

광속에 가까운 속력으로 달리는 기차 안에서 레이저 빛을 직접 천정 거울을 향해 쏜다면 천정의 거울을 맞추지 못하게 된다. 레이저 빛이 수직 상승 운동을 하는 동안 기차가 광속에 준하는 속력으로 앞으로 이동해버리기 때문이다. 이러한 현상은 빛이 광원의 운동과 관계없이 일정한 속도를 갖는다는 사실과 관련된다.

즉, 기차의 천정 거울을 향해 쏜 빛을 기차 밖에서 보면 빛이 수직 상승 운동을 한 것으로 보이지만, 기차 안에서는 레이저 빛이 기차 뒤쪽으로 사선을 그리며 날아가는 것으로 보이는 것이다. 예컨대  $0.5c$ 의 속력으로 달리는 기차에 탄 승객은 이 빛이  $63.4^\circ$ 의 사선을 그리면서 후방으로 날아가는 것으로 보일 것이다(그림 1-4 b의 점선).

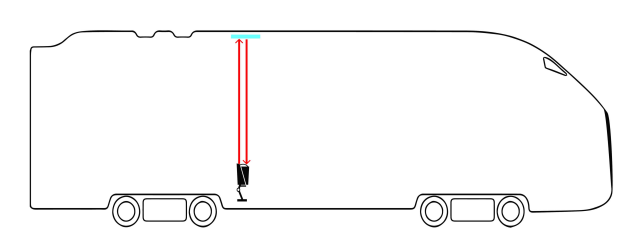
결국, 광속에 가깝게 달리는 기차에서 천정의 거울에 레이저 빛을 맞추기 위해서는 수직 위 방향이 아니라 앞쪽 방향으로 비스듬히 레이저 빛을 쏘아야 한다.  $0.5c$ 의 속력으로 달리는 기차에서는 지면에 대해 전방  $60^\circ$  방향으로 레이저 빛을 쏘아야 수직 천정의 거울에 반사시킬 수 있다(그림 1-4 c 참조). 이 경우, 기차 밖에서는 빛이 전방  $60^\circ$  방향으로 운동하는 것으로 보이지만 기차 안에

있는 사람은 빛이 수직 상승, 하강을 한 것으로 보게 된다. 기차의 속력이 빠르면 빠를수록 더 낮은 각도로 쏘아야 천정에 있는 거울을 맞출 수 있고 빛이 다시 원점으로 돌아올 수 있다.

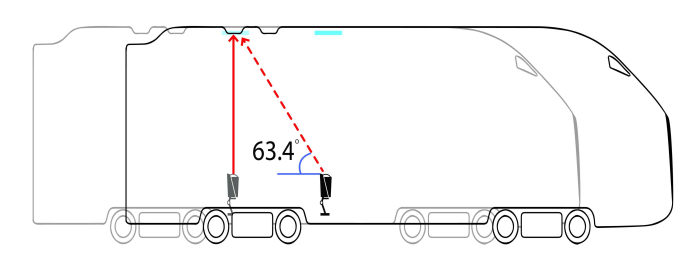
이는 광속에 가까운 속도로 운동하고 있는 사람이 외부세계가 아니라 자신의 기차가 앞쪽으로 운동하고 있음을 확인할 수 있는 방법이 된다. 왜냐하면 기차 밖 외부세계에 있는 사람들에게는 이런 일이 일어날 수 없으며 또한 외부세계가 이동할 경우에는 기차 안에서 일어날 수 없는 현상이기 때문이다.

그림 1-4 기차에서 천정 거울에 레이저 쏘기

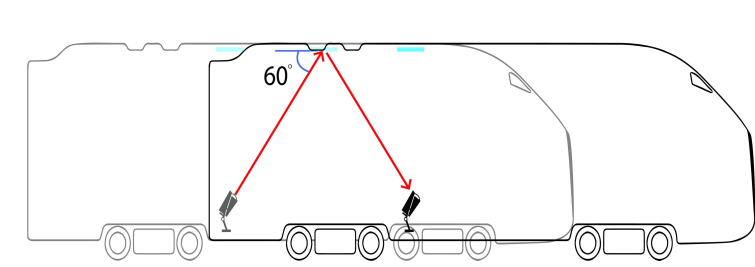
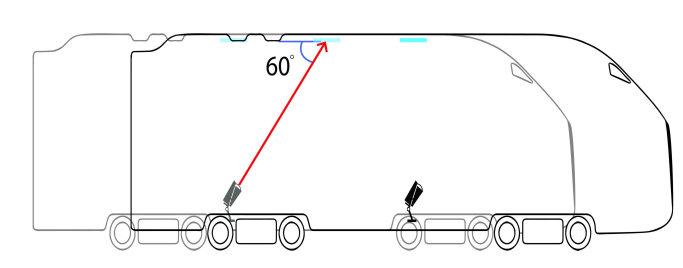
- a. 기차가 정지해 있을 때 빛을 수직으로 쏘 -> 천정 거울에 반사되어 원점으로 돌아옴



- b. 기차가 0.5c로 달릴 때 빛을 수직으로 쏘 -> 천정 거울을 맞추지 못함



- c. 기차가 0.5c로 달릴 때 빛을 전방 60°로 쏘 -> 천정 거울에 반사되어 원점으로 돌아옴



### 사고실험 1-5 : 우주선에서의 마이컬슨·몰리실험(1)

사고실험 1-3, 1-4의 설명에 대해 여전히 동의하기 어렵다고 생각하는 분들은 사고실험 1-5를 주의 깊게 살펴보기 바란다. 사고실험 1-5는 전방으로 날아간 빛이 반투명 거울에 의해 방향이 바뀌어 천정 거울에 반사되어 내려오는 과정이 포함된다. 말하자면 마이컬슨·몰리실험인데 앞의 사고실험들에서 광원의 관성력이 문제가 될 수 있었다면 여기서는 완전히 배제된다.

마이컬슨·몰리실험이 지구라는 우주선에 실린 마이컬슨·몰리간섭계 실험이라면, 이번 사고실험은 광속에 가까운 속력으로 날아가는 우주선에서의 마이컬슨·몰리 실험이다. 우주선에 마이컬슨·몰리실험 장치를 실어보자. 마이컬슨·몰리실험 장치를 우주선의 전후방향과 상하방향으로, 한글의 ㄴ자(영어의 대문자 L자) 형태로 고정시킨다.

우주선이 정지해 있을 때 광원에서 빛을 쏘면 빛의 절반은 반투명 거울을 통과하여 직진한 후 전방 거울(B)에 반사되어 되돌아 올 것이고, 빛의 절반은  $90^\circ$ 로 꺾여서 수직으로 날아갔다가 상부 거울(A)에 반사되어 반투명 거울로 돌아올 것이다. 이때 반투명 거울은 광원으로부터 빛이 진행되는 방향에  $45^\circ$ 로 설치한다(그림 1-5 a 참조).

이제 우주선을 이륙시켜 속력을 높인 후 같은 실험을 해보자. 앞의 사고실험(기차 천정거울에 레이저 빛 쏘기)에서와 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  $45^\circ$ 로 설치했지만, 우주선의 속도에 따라 반투명 거울의 설치 각도를 조금씩 변화시켜야 하는 것이다. 우주선이 광속의  $1/2$ 로 달리는 경우에는 광원으로부터의 빛의 진행방향에 대해  $30^\circ$ 로 반투명 거울을 조정해야 빛이 전방  $60^\circ$  방향으로 꺾여서 상부 거울(A)에 반사될 수 있다(그림 1-5 b 참조).

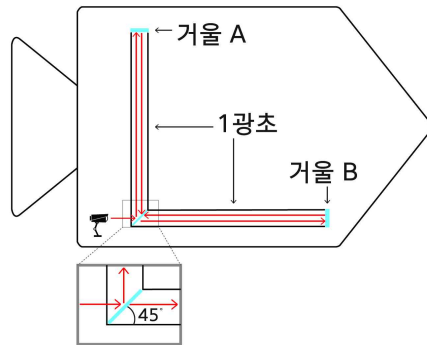
이제 광원에서 빛을 쏘면 빛의 일부는 반투명 거울을 통과한 후 직진하여 전방 거울(B)에 반사되어 되돌아 올 것이다. 그리고 나머지 빛은 반투명 거울에 반사되어 지면에 대해 전방  $60^\circ$  방향으로 꺾여서 올라간 후 상부 거울(A)에 반사된다. 이 빛은 전방  $-60^\circ$  방향으로 하강하여 반투명 거울과 다시 만날 것이다(그림 1-5 c 참조). 이때, 우주선 안에 있는 사람에게 거울 A에 반사된 빛은 상하로 수직 왕복한 것으로 보인다.

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 있게 된다는 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 1-5 우주선에서의 마이컬슨·몰리실험

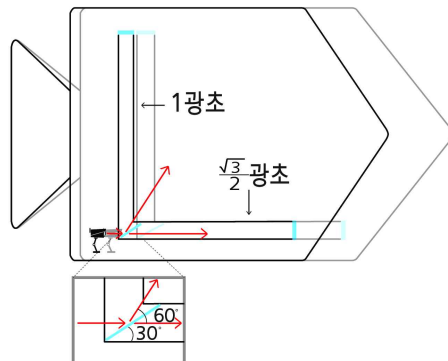
a. 우주선이 정지해 있을 때 (혹은 광속에 대해 아주 낮은 속도일 때) 마이컬슨 실험

-> 반투명 거울을 지면에 대해  $45^\circ$ 로 설치함



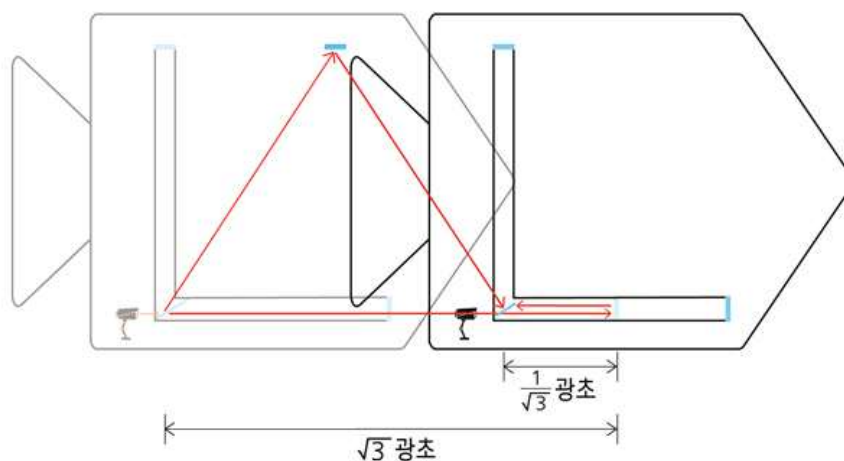
b. 우주선이 광속의  $1/2$ 로 날아갈 때(우주선의 길이  $\sqrt{3}/2$ 로 수축) 마이컬슨·몰리실험

-> 반투명 거울을 지면에 대해  $30^\circ$ 로 설치함



c. 빛이 직진 방향과 전방  $60^\circ$  방향으로 날아가서 거울에 반사됨

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





### 사고실험 1-6 : 우주선의 삼각막대(삼각함수의 역설)

특수상대성 이론에 의하면 광속에 가까운 속도로 날아가는 우주선을, 우주선 밖에서 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 있기 때문이다. 말하자면 기준이 되는 좌표계 혹은 측정도구로서 자가 수축되어 있는 것이다. 예컨대, 100m 길이의 우주선이 0.8c의 속력으로 날아가면 외부에서 볼 때 60m로 수축되어 보이겠지만 우주선 내에서 측정해 보면 우주선의 길이는 여전히 100m이다.

여기까지는 상대성이론의 방정식(로렌츠변환)이 밝히고 있는 바이고 필자도 동의하는 부분이다. 그런데 아인슈타인은 여기에다 특수 상대성원리를 도입한다. 특수 상대성원리에 의하면 우주선의 운동이 전 우주에 대해 상대적이다. 따라서 날아가는 우주선이 수축될지 그 반대편의 우주 전체가 수축될지 알 수 없다. 우주선 밖에서 보면 우주선의 길이가 수축되어 보이지만 우주선 내부에서 보면 오히려 우주선 외부의 물체들의 길이가 수축된 것으로 보인다는 것이다.

그러면 날아가는 우주선 안에서 물체가 전후 방향으로 수축된 사실을 알 수 있는 방법이 전혀 없을까? 만약, 날아가는 우주선이 수축될지 나머지 우주 전체가 수축될지 확정되지 않는다면 우주선에 타고 있는 사람이 자신의 우주선이 날아가고 있음을 알 수 있는 방법은 없다. 실제로 정해져 있지 않기 때문이다.

그러나 로렌츠변환식과 특수상대성이론의 방정식은 날아가는 우주선의 질량이 실제로 증가하고 길이가 수축하며 시간이 지연된다고 본다. 또 일반상대성이론의 방정식도 중력이 물질의 길이를 실제로 수축시키고 시간을 실제로 지연시킨다고 설명한다. 이는 단지 외부 관찰자에게 보이는 겉보기 현상이 아니다. 우주선 밖에서 볼 때와 같이 우주선 안에서도 길이가 수축되는 것이다. 다만 우주선 내에서는 측정 도구마저 수축하여 마치 수축이 안 된 것처럼 측정될 뿐이다.

우리가 이러한 사실을 받아들인다면, 이 문제와 관련하여 하나의 사고실험을 해볼 수 있다. 우주선이 삼각막대(삼각기둥)를 싣고 날아가는 것이다. 우주선이 정지해 있을 때 이 삼각막대는 양 옆면삼각형의 변 길이가 각각 10cm, 5cm,  $5\sqrt{3}$ cm이고 내각이  $90^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $30^\circ$ 이다. 이 삼각막대를 그림 1-6 a와 같이 우주선이 날아가는 방향에 대해 직각으로 눕혀 놓은 후, 우주선이 이륙하여 속력을 높인다.

우주선과 함께 삼각막대도 미세하나마 앞뒤 방향으로 길이가 수축될 것이다. 우주선의 속력이 광속의 1/2에 이르러 등속운동을 하면 삼각막대의 밑변 길이는  $\sqrt{3}/2$ 배 줄어들어 7.5cm가 된다. 그러나 이 경우에도 우주선 내에서 측정하면 삼각막대의 전후 방향 길이는 여전히  $5\sqrt{3}$ cm로 측정될 것이다. 우주선 내에서는 자를 포함한 모든 것이 수축되기 때문이다.

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

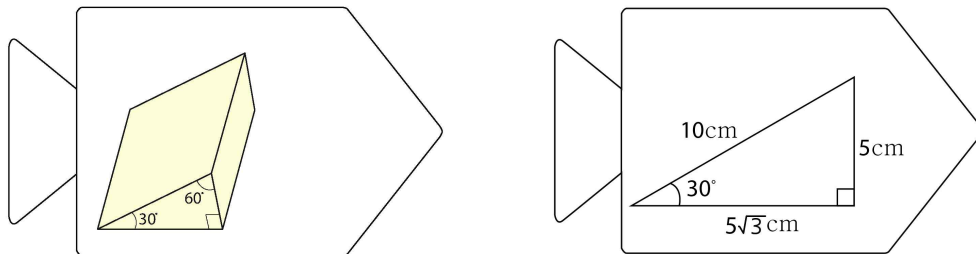
물론 우주선의 속력이 그다지 빠르지 않아서 길이 수축이 미미하다면 우주선 내에서 길이수축과 내각의 변화를 알아차리기 힘들다. (그런데 그 경우에는 우주선 외부에서도 우주선의 길이수축을 확인하기 어려울 것이다.) 하지만 우주선의 속력이 빨라지면 길이수축과 내각의 변화는 가시적이 된다. 만약 우주선의 속력이  $0.6c$ 가 되면 삼각막대의 밑변 길이는  $4\sqrt{3}\text{cm}$ 로 줄어들고 (우주선 안에서 측정하면 여전히  $5\sqrt{3}\text{cm}$ 이다.) 내각은 각각  $90^\circ$ ,  $54.2^\circ$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

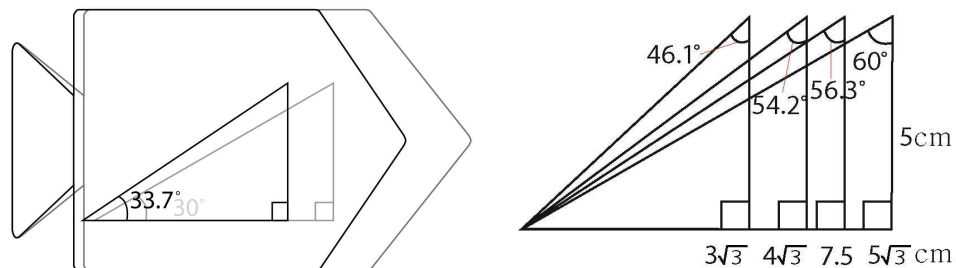
이 사고실험 결과가 옳다면 우주공간 상의 모든 운동은 상대운동이며 절대좌표계가 존재하지 않는다는 특수 상대성원리는 부정된다. 우주선에 탄 사람이 자신이 운동하고 있음을 알 수 있고 그 속력까지 알 수 있다면 특수 상대성원리는 근거를 잃게 된다. 이때 특수 상대성원리는 시공간을 포함하는 아인슈타인의 특수 상대성원리 뿐 아니라 갈릴레이의 제한된 상대성원리도 포함되며 모든 상대성원리가 부정된다.

그림 1-6 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



### 사고실험 1-7 : 달리는 기차에서 본 외부 시계

그림 1-7과 같이 기차가 A역을 출발하여 B역을 향해 달려간다고 해보자. A역과 B역 사이 거리는 1광초이며 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 양역 간 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)을 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 동일하다.

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? 특수 상대성원리에 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 놀라겠지만 상대성이론에 대해 지식을 가지고 있다면 모든 상황을 알아차리게 될 것이다. 자신이 1광초의 거리를 광속의  $1/2$  속력으로 달려왔으며, A, B 두 시계의 시간 경과를 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 여느 시계와 다를 바 없이 동일하게 관측된다.

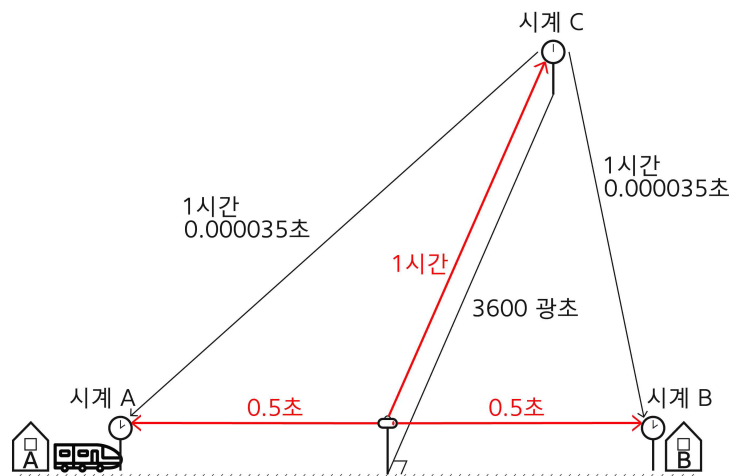
그런데 이 점은 기차 안에서도 다르지 않다. 기차가 A역을 출발할 때 시계 C를 보면 0시 0분 0.499965초를 가리킬 것이다. 이제 B역에 도착하면서 시계 C를 보면 0시 0분 2.499965초가 된다. 기차가 A역에서 B역에 도착하기까지 시계 C는 총 2초가 경과한 것이다.

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 특수 상대성원리에 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, 이러한 사실은 특수 상대성원리, 상대공간 개념과 당연히 모순된다.

이 사고실험 결과는 또한 특수 상대성원리와 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 발생하는 것이다.

그림 1-7 달리는 기차에서 본 외부 시계



### 사고실험 1-8 : 마주 보고 달리는 기차에서의 속력 측정

사고실험 1-8에서는 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 1-7과 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 의문스럽다면 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 1-7과 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 특수 상대성원리와 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 특수 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 기차 1, 2 간의 상대속도는 약  $1.27c$ 가 된다.)

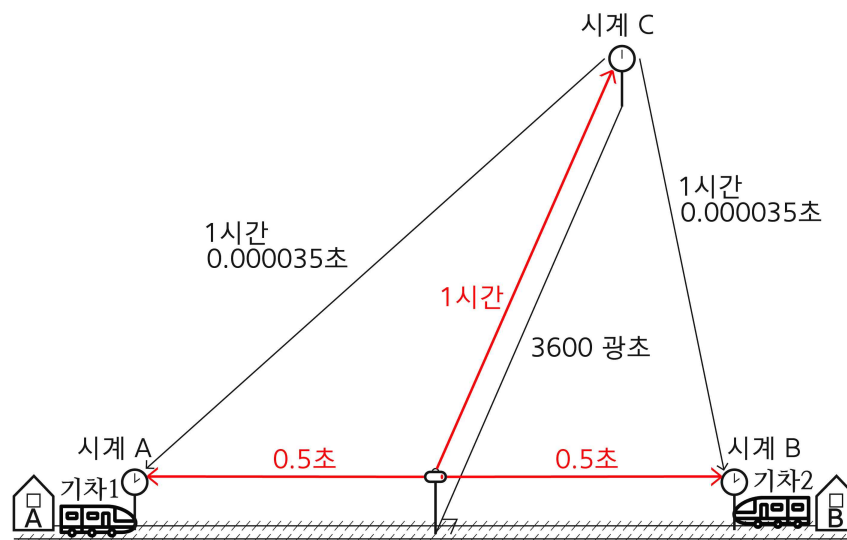
이는 반대로 기차 2에서 기차 1을 관측하더라도 다르지 않다. 기차 1의 앞부분이 기차 2의 맨 앞 유리창을 지나가고 나서 기차 1의 후미가 같은 곳을 통과하는 시간은 약 0.0063초 후이다. 그리고 이 때 기차 1의 상대속도는 약  $1.59c$ 가 될 것이다. (만약 기차 1의 길이를 0.01광초가 아닌 기차 속력에 따른 길이수축 효과를 고려하여  $\sqrt{3}/200$ 광초로 계산한다면 약  $1.38c$ 가 된다.)

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 상대운동은 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 1-8 마주 보고 달리는 기차에서의 속력 측정



### 사고실험 1-9 : 쌍둥이 역설의 모순

쌍둥이 역설은 쌍둥이 형이 우주여행을 떠나는 사고실험이다. 이 역설의 핵심 문제는 광속에 가까운 속도의 우주선을 타고 지구를 떠난 형과 지구에 남은 동생 중 누구의 시간이 빨리 진행되느냐 하는 것이다. 특수상대성이론에 의하면 운동하는 관성계의 시간이 느려지는데, 특수 상대성원리에 따르면 우주선과 지구 중 어느 것이 실제로 운동하는지 확정되지 않고 서로 상대적이라는 것이다.

학자들은 쌍둥이 역설을 설명하면서 ‘우주선이 등속운동을 하고 있다면 형이 보기에는 동생의 시간이 느려지고 동생이 보기에는 형의 시간이 느려진다’고 말한다. 둘의 관성계가 서로 다름으로 서로의 시간을 비교할 수가 없고 누구의 시간이 빨리 갈지 알 수 없다는 것이다.

그런데 만약 형이 우주선을 되돌려서 지구로 돌아온다면 어떻게 될까? 일반적인 설명은 ‘우주선의 방향 전환 등 가속도 운동이 우주선에 탄 형의 시간을 느리게 만든다’는 것이다(차동우, 2003; 송은영, 2010). 가속도 운동 시에 시간이 느리게 가는 것은 일반상대성이론이 증명한 것이고, 일반상대성이론에는 특수 상대성원리가 적용되지 않는다.

이러한 설명은 그럴듯해 보이지만 다른 한편으로 중요한 의문을 남긴다. 만약 가속도 운동만으로 형의 시간지연이 모두 설명될 수 있다면, 아무리 먼 거리를 광속에 준하는 속도로 운동하더라도 등속운동을 하는 동안에는 시간지연이나 길이수축, 질량증가가 전혀 발생하지 않는다는 말이 되기 때문이다. 결국, 형이 탄 우주선이 지구에서 달을 돌아오건 지구에서 수십 광년 거리의 여타 행성을 돌아오건 등속운동을 한 거리에 상관없이 시간지연 효과가 동일해야 할 것이다. 그림 1-9를 참고하여 이 사고실험을 분석해보면, 쌍둥이 형이 탄 우주선이 1광년 거리를 다녀오나 10광년 거리를 다녀오나 시간지연효과는 동일하다는 결론에 이르게 된다.

그런데 등속운동에서 시간지연, 길이수축, 질량증가 효과가 발생하지 않고 가속운동에서만 시간지연이 일어난다고 한다면 이는 특수상대성이론에 위배된다. 특수상대성이론은 명백히 등속운동에서도 시간지연, 길이수축, 질량증가 효과가 일어난다고 지적하고 있다.

쌍둥이 역설 문제에 대해 일부 전문가들은 우주선이 등속운동을 할 경우에도 형의 시간이 느리게 갈 것이라고 말한다. 형의 우주선이 날아가는 것이나 형의 우주선이 멈추어 있고 우주 전체가 반대편으로 운동하는 것이나 동일한 효과가 나타남으로, 형의 우주선에서 시간이 느리게 가는 것과 우주선 밖의 우주 전체의 길이가 수축되는 것이 동등하다는 것이다. 어느 경우이거나 우주선에 탄 형의 시계가 느리게 진행되며 그런 점에서 특수 상대성원리에 모순이 발생하지 않는다는 설명이다(윤복원, 2014).

그러나 형의 우주선이 정지해 있고 우주 전체가 반대편으로 운동한다면 우주 전체에 길이수축뿐 아니라 시간지연 효과가 일어나야 한다. 이 경우, 우주 전체의 길이수축이 형이 탄 우주선의 운동시간을 단축시킬(느리게 할) 수 있지만, 한편으로 우주 전체의 시간지연은 동생의 시간을 느리게 만들 것이다. 결국 우주 전체의 시간지연 효과는 형이 탄 우주선의 거리 단축 효과와 상쇄되고 만다. 우주선이 날아가는 것과 우주 전체가 반대로 운동하는 것은 동등하지 않은 것이다. (이 문제는 뮤온의 입자붕괴 문제에 대해서도 동일하게 적용된다. 뮤온의 입자붕괴에 있어서 시간지연 현상을

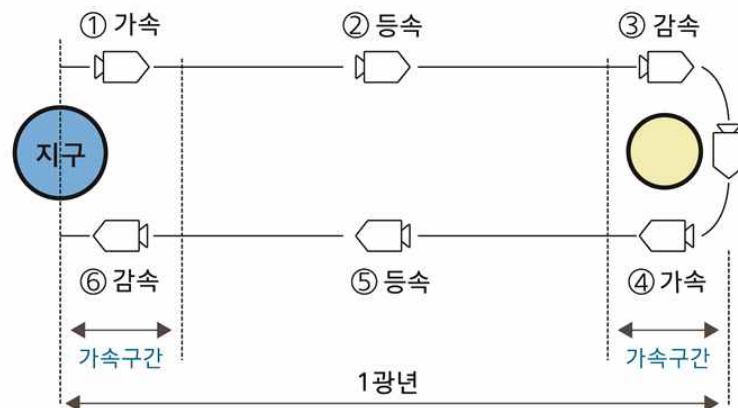
외부세계의 길이수축과 동등한 것으로 설명하는 전문가들이 적지 않은데 외부세계에 있어서의 시간 지연을 고려하면 동등하게 볼 수 없다. 실제 실험 및 관측 1-2 참조)

쌍둥이 역설은 기본적으로 특수 상대성원리에 대한 문제 제기였다. 이 난문이 제기되었을 때 특수상대성이론만으로는 해명이 불가능했다. 그런데 가속도 운동을 수반하는 일반상대성이론이 제출됨으로써 쌍둥이 역설은 사실상 해명된 것처럼 알려져 왔다. 그러나 쌍둥이역설은 여전히 의문을 남기며 이 문제에 대한 깊은 고찰은 특수 상대성원리의 모순을 드러낸다.

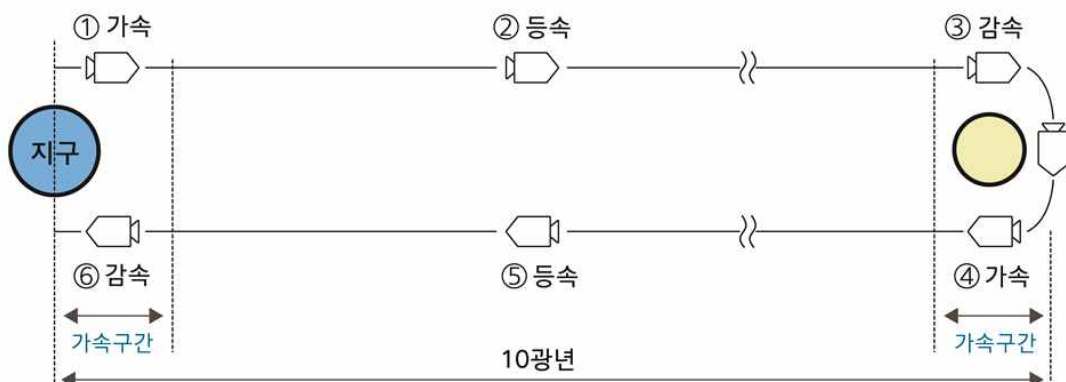
만약 이 문제를 해명하는데 있어서 특수 상대성원리(상대공간)를 배제하고 대신에 절대공간 개념을 도입하면 어떻게 될까? 쌍둥이 역설 문제는 저절로 해결된다. 등속운동을 하는 과정에서 절대공간에 대해 실제로 운동하는 형의 시간이 느리게 가고 운동하지 않는 동생의 시간은 느려지지 않는 것이다. 이는 로렌츠변환, 즉 특수상대성이론의 방정식이 의미하는 것이고 실제 실험과 관측들이 입증해주는 바이다. 예컨대 원자시계를 실은 제트기 실험이나 인공위성의 시간지연 현상은 운동하는 물체가 실제로 시간이 지연됨을 보여준다(실제 실험 및 관측 1-3, 1-4 참조).

그림 1-9 쌍둥이 역설 문제의 도해와 분석

a. 쌍둥이 형이 탄 우주선이 1광년 거리의 행성을 0.5c의 속력으로 돌아옴



b. 쌍둥이 형이 탄 우주선이 10광년 거리의 행성을 0.5c의 속력으로 돌아옴





### 사고실험 1-10 : 질량증가의 상대성 문제

아인슈타인의 특수 상대성원리의 타당성을 판별하는 또 다른 방법은 로렌츠변환과 특수상대성이론이 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 특수 상대성원리는 설 자리를 잃게 된다. 왜냐하면, 우주공간 상에서 운동하는 물체(혹은 좌표계)에 길이수축, 시간지연, 질량증가가 실제로 발생한다면 그것은 결코 상대편 좌표계에서 동시에 일어날 수 없기 때문이다. 반대로 운동하는 물체의 길이수축과 시간지연, 질량증가가 상대 좌표계 혹은 외부에서 볼 때 나타나는 겉보기 현상에 불과하다면 양 좌표계 사이에 특수 상대성원리가 작용한다고 할 수 있을 것이다.

이제, 고속으로 달리는 기차가 있다고 해보자. 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, 질량증가가 발생한다면 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 실험은 운동하는 물체에 있어서 질량증가 문제일 것이다. 현대 물리학은 운동하는 물체에 있어서 질량증가가 실제 현상임을 밝히고 있다. 이는 특수상대성이론이 이론적으로 정립하였을 뿐 아니라 수많은 실험과 관측 결과들이 확인해준다. 가령 움직이는 전하가 자장에서 휘어질 때 에너지가 클수록 회전 반경이 증가하는 것으로 관측된다. 말하자면 운동하는 물체의 속도가 빨라짐에 따라 그 물체의 질량이 실제로 증가하는 것이다.

그에 반해 어떤 물체의 속력을 높이는 것이, 이 물체를 제외한 우주 전체의 질량을 높이는 현상은 전혀 보고되거나 입증된바 없다. 사실, 고려조차 되지 않는다. 우주상에는 수많은 물질들이 제각기 운동을 하고 있는데, 우주 전체가 어떻게 그 반대로 운동할 것이며 그에 따라 질량이 오르내릴 수 있겠는가.

이런 점에서 어떤 물체가 특정 방향으로 운동하는 것과 나머지 우주 전체가 반대 방향으로 운동하는 것은 동등한 현상이라고 할 수 없다. 즉, 특수상대성이론이 특수 상대성원리와 상합하지 않는 것이다.

### 사고실험 1-11 : 가속도 운동의 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 밖에서라면 우주선이 어떤 가속도 운동을 하더라도 결코 이런 힘(관성력)을 받지 않을 것이기 때문이다. (이는 아인슈타인도 인정한 바이다.)

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 방향전환을 하고 가속이나 감속을 한 것인지 설명이 불가능하다. 가속도 운동에서 나타나는 관성력의 작용은 상대공간 개념에 부합하지 않으며 절대공간의 존재를 확인시켜준다고 할 수 있다. 또, 가속도 운동에서 절대공간의 존재가 확인된다면 물체가 등속운동을 할 때도 절대공간은 사라지지 않을 것이다.

여기서 특수 상대성원리와 상대공간에 대한 중대한 의문이 제기된다. 특수 상대성원리가 작용하는 상대공간이라면 가속도 운동에 대해서도 특수 상대성원리가 작용하여야 할 것이다. 일반상대성이론이 일반적인 것은 가속도 운동에 적용되기 때문이고 가속도운동이야말로 일반적인 운동이다. 특수 상대성원리가 가속도 운동에 적용될 수 없다면 특수 상대성원리(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 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. 우주선에 탄 사람이 절대운동과 상대운동이 반복되고 있다고 느낀다면 그것은 절대공간 상에서 절대운동이 존재하고, 그가 보고 있는 상대운동은 절대운동의 겉보기 운동이라고 할 것이다.

나아가 어떤 우주선이나 물체도 우주공간 상에서 완전한 등속운동을 할 수 없으며 약간이라도 가속도 운동을 하고 있다. 모든 물체가 공간상에서 운동을 하고 있는데 그것들은 예외 없이 자전을 하며 어떤 물체 주위를 공전한다. 또, 우주공간에는 어디에서든 여러 천체로부터 미세하게라도 중력

이 미치고 있고 모든 물체는 자체적으로 중력(가속도)을 가진다. 모든 물체(물질)가 가속도 운동을 하고 있다면 결국 우주상의 모든 운동이 절대운동이라고 할 것이며 이는 우주공간이 절대공간임을 의미한다.

이 사고실험은 뉴턴이 제안한 회전하는 물통 문제와 본질적으로 동일한 것이다. 물통의 회전 과정에서 물통에 든 물의 가운데가 오목해지는 것은 원심력이 작용하기 때문이다. 이 원심력의 근원을 뉴턴은 절대공간에서 찾은 반면 마흐는 우주상에 분포하고 있는 각종 천체들의 중력으로부터 나온다고 주장하였다. 그리고 아인슈타인도 특수·일반상대성이론을 개발한 시기(전기)에는 마흐의 주장을 적극 옹호하였다.

그러나 브라이언 그린 등 현대 물리학자들은 뉴턴의 회전하는 물통실험과 관련하여 우주에 물질(천체)이 존재하지 않는다고 하더라도 회전하는 물통의 물은 원심력을 받게 된다고 설명한다. 나아가 특수·일반상대성 이론을 적용하는 경우에도 회전하는 물통의 물은 원심력을 받아서 오목해질 것이며, 상대성 이론은 절대시공간 개념을 수용하지 않을 수 없다고 지적한다(Greene, 2004). 만약 브라이언 그린의 말처럼 절대시공간 개념을 받아들인다면 두 좌표계 사이의 절대적 기준을 부정하는 특수 상대성원리의 근거는 매우 취약해진다.

그런데 본 연구는 이상의 다양한 사고실험들을 통해 상대공간과 특수 상대성원리가 상대성이론의 방정식과 상충함을 지적하며 특수 상대성원리라는 가설을 부정한다.

### 3.2 길이수축 : 공간수축 vs 물체수축

운동하는 물체 혹은 중력의 영향을 받는 물체에 있어서 길이수축은 물체(물질)의 길이가 수축하는 것일까 아니면 공간이 수축하는 것일까? 아인슈타인은 운동하거나 중력을 받는 좌표계의 물체와 공간이 함께 수축하는 것이라고 설명한다.

특수·일반상대성이론의 방정식은 실제로 공간을 포함한 관성계 전체가 수축되는 인상을 갖게 한다. 특히 특수 상대성원리 혹은 상대공간을 가정하게 되면, 움직이는 물체의 입장에서는 자신의 관성계를 제외한 나머지 전체 우주가 수축되고 시간이 지연되는 것으로 보이게 된다. 그렇다면 물질과 함께 공간도 수축되는 것이다. 그러나 마이컬슨·몰리실험과 특수상대성이론의 방정식을 결합해보면 운동하는 물체에 있어서 수축되는 것은 공간이 아니라 물체 자체임을 알 수 있다. 이는 중력에 의해 수축되는 것도 물체이며 공간이 아님을 의미한다.

#### 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.

그림 2-1에서와 같이 기차의 중앙에 전등이 있고 기차의 양 끝에 거울이 서로 마주보고 있다. 이 사고실험에서 거울의 위치나 전등과의 거리는 사고실험 1-1에서의 전등, 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 나아갔다가 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 동일하게 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 나아간 빛이 거울에 반사되어 돌아오는데 걸린 시간은 둘 다  $4/\sqrt{3}$ 초이다. 즉, 양 방향으로 나아간 빛이 동시에 돌아와서 만나는 것으로 관측된다.

그렇다면 기차 안에서 볼 때 빛의 운동과정과 시간은 어떻게 될까. 기본적으로 빛의 운동 과정

은 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. (이 연구는 이러한 현상이 나타나는 이유가 빛이 기차라는 물체에 대해 관성운동을 하지 않고, 달리는 기차가 길이수축, 시간지연을 일으켰기 때문으로 해석한다. 더하여 빛의 왕복운동을 측정했기 때문에 이러한 결과가 가능했을 것이다.)

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

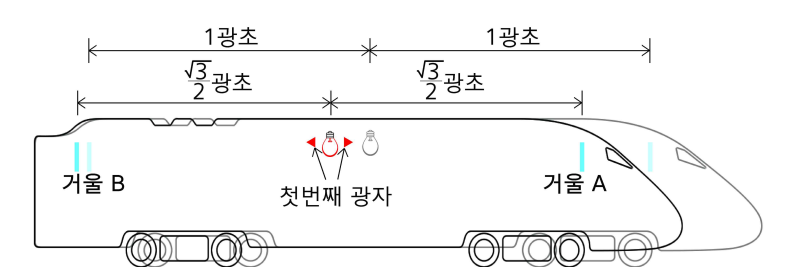
이를 위해 기차 내 빛의 운동을 분석한다. 즉, 물체의 운동으로 길이수축이 발생하였을 때 그것이 수축된 관성계 내 빛의 운동에 영향을 미치는가 하는 문제를 고찰한다. 만약 길이수축이 운동하는 물체의 수축만 가져온다면 관성계 내 빛의 운동에 아무런 영향도 미치지 못할 것이다. 하지만 그것이 공간의 수축을 동반하는 것이라면 기차라는 관성계 내 빛의 운동도 공간수축에 맞추어 조정되어야 할 것이다.

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.

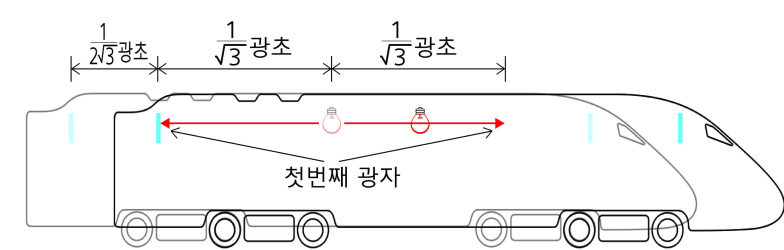
이는 빛의 운동이 날아가는 우주선의 밖에서 뿐 아니라 안에서도 우주선의 속력에 전혀 영향을 받지 않는다는 것이며 결국 우주선 안에서 공간의 수축이 발생하지 않음을 시사한다. 빛은 물질의 운동에 관성을 갖지 않으며 절대공간에 대해 운동한다는 본 연구의 가설에 부합하는 것이다.

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)

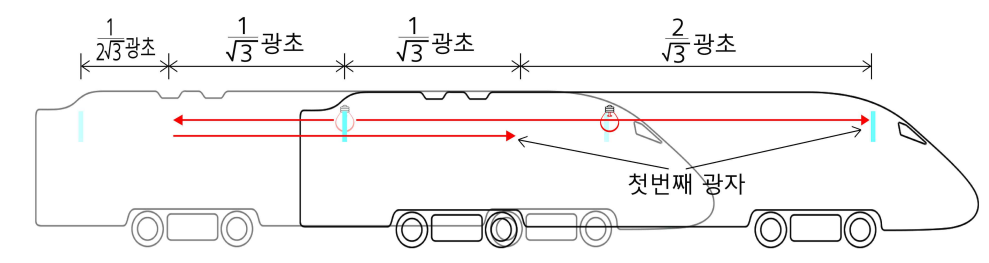


- b. 전등 불빛(첫 번째 광자)이  $1/\sqrt{3}$ 초 후에 거울 B에 반사됨



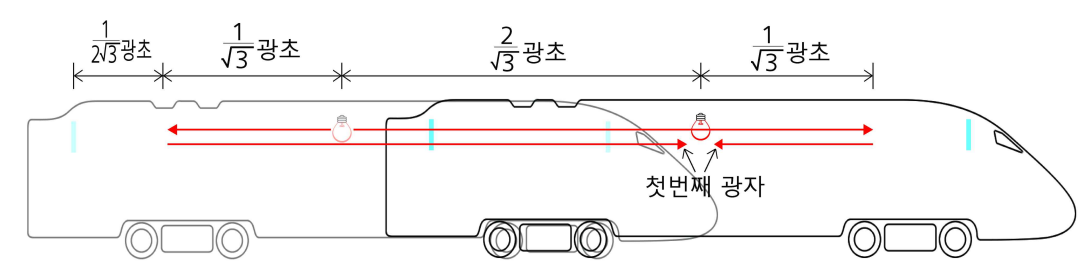
- cf) 기차 밖에서 볼 때 거울 B에 빛이 먼저 반사된 것으로 보임. 기차 안에서는 알 수 없음

- 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 넘어설 수 없기 때문이며, 그 점은 아인슈타인 자신이 명확히 지적한 바이기도 하다.<sup>10)</sup>

$0.5c$ 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  $4/3\sqrt{3}c$ 가 된다. 즉, 기차 내에서 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.

10) 아인슈타인에 의하면 물질이 시공간의 곡률을 결정하고 시공간이 물질의 운동을 결정한다.

**사고실험 2-2 : 우주선에서의 마이컬슨·몰리실험(2)**

사고실험 1-5에서와 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 1-5 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 1-5에서와 같이 마이컬슨·몰리 실험장치의 반투명 거울은 광원으로부터 빛의 진행방향에 대해  $30^\circ$ 로 설치한다. 빛은 반투명 거울에서 분할되어 우주선의 앞 방향과 전방  $60^\circ$  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 앞 쪽에 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  $8/3\text{초} \times \sqrt{3}/2 = 4/\sqrt{3}\text{초}$ , 총  $4/\sqrt{3}\text{초}$ 의 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 시간팽창이  $2/\sqrt{3}$  만큼 일어나기 때문이다. 즉,  $4/\sqrt{3}\text{초} \times \sqrt{3}/2 = 2\text{초}$ 가 되는 것이다.

이번에는 마이컬슨·몰리 간섭계에 있어서 상부 거울(A)을 향해 날아간 빛의 운동을 생각해 보자. 전방  $60^\circ$  방향으로 날아간 빛의 왕복 운동거리는 우주선이 정지해 있을 때 상하로 왕복한 거리보다 당연히 길다. 우주선의 운동 속도가  $0.5c$ 라면 빛의 왕복 운동거리는  $4/\sqrt{3}$ 광초가 될 것이다. 그것은 우주선이 정지해 있을 때보다  $2/\sqrt{3}$ 배 길어진 것이다. 물론, 이는 외부에서 관찰할 때 나타나는 현상이고, 우주선 내부에서는 빛의 왕복거리와 시간이 다르게 측정된다. 우주선 내에서 빛의 왕복거리는 2광초이며 왕복시간은 2초가 된다. 왕복거리가 2광초로 보이는 것은 우주선 내에서는 빛이 상하로 왕복운동을 한 것으로 보이기 때문이다. 그리고 왕복시간이 2초로 측정되는 것은 우주선 내 시간지연 효과로 설명이 가능하다. 우주선이  $0.5c$ 의 속도로 날아간다면 우주선 내에서는 시간팽창이  $2/\sqrt{3}$ 배 만큼 일어나고  $4/\sqrt{3}\text{초} \times \sqrt{3}/2 = 2\text{초}$ 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 것이



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

먼저 우주선이라는 물질(물체)만 진행방향으로 수축된다면 (이는 우리의 기본 가설과 일치한다) 앞에서 설명한 결과와 같다. 즉, 앞의 분석은 우주선과 우주선 내부의 물질만 길이수축 효과가 발생하고 우주선 내 공간의 수축은 일어나지 않아서 빛의 속력이 길이수축 이전과 동일한 상황을 가정한 것이다. 이 경우 마이컬슨-몰리장치의 두 빛은 어디에서 보든지  $c$ 의 속력을 가지며 동시에 돌아와서 만나게 된다(그림 1-5 참조). 그것은 마이컬슨-몰리 실험결과와 일치하는 것이다.

이에 대해 우주선 내의 공간을 포함하는 좌표계(관성계)가 진행방향으로 수축된다고 가정한다면 상황이 달라진다. 아인슈타인의 특수 상대성원리가 상정하는 것처럼 우주선 내 공간이 우주선과 함께 수축된다면 - 아인슈타인에 의하면 빛은 공간을 따라 운동하며 공간이 휘면 빛의 경로로 휘게 됨으로 - 공간을 포함한 좌표계의 수축은 빛의 운동속도에 영향을 미칠 것이다.

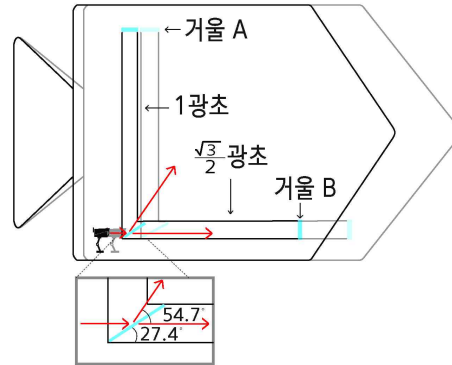
말하자면, 우주선의 길이수축이 공간의 수축을 포함한다면 빛은 (우주선 외부에서 볼 때) 수축된 공간에 대응하여 속력이 느려지며, 이 경우 그림 2-2에서 보듯이 반투명거울로부터 직진한 빛은 앞의 실험(그림 1-5)에서보다 더 먼 거리를 운동해야 거울에 반사될 수 있다. 즉, 앞의 실험에서는 빛이  $\sqrt{3}$ 광초의 거리를 날아가서 거울 B에 반사되었지만 이제는  $3/2(\sqrt{3}-1)$ 광초의 거리를 날아가야 거울 B에 반사되는 것이다. 또, 우주선의 상부 거울(A)로 날아간 빛은 우주선 진행방향에 대해  $60^\circ$ 보다 작은 각도(약  $54.7^\circ$ )로 운동해야 상부의 거울에 반사될 수 있다. 당연히 빛의 왕복운동 거리와 시간도 연장된다. 그런데 우주선의 외부에서 볼 때 빛의 운동거리에 대비해 운동시간이 더 길어지기 때문에 빛의 속력은  $c$ 에 미달한다. 앞쪽으로 날아간 빛은 총  $3/(\sqrt{3}-1) - \sqrt{2}$ 광초의 거리를 운동하며 운동시간은  $2\sqrt{3}/(\sqrt{3}-1) - 2\sqrt{2}/\sqrt{3}$ 초이다. 그리고 위쪽으로 날아간 빛의 총 운동거리는  $\sqrt{6}$ 광초이고 총 운동시간은  $2\sqrt{2}$ 광초이다. 결과적으로 양 방향으로 날아간 두 빛은 반투명거울로 동시에 돌아오지 못한다.

그렇다면 우주선 내에서는 마이컬슨-몰리장치의 빛의 운동이 어떻게 보일까? 우주선 내에 있는 사람에게 빛은 전후 방향과 수직 상하방향으로 운동을 한 것으로 보인다. 즉, 양방향 빛의 운동거리는 각각 2광초이다. 그런데 빛의 왕복시간은 시간지연 효과를 적용하더라도 2초 보다 길어진다. 즉, 위쪽으로 날아간 빛은  $\sqrt{6}$ 초 만에, 앞쪽으로 날아간 빛은  $3/(\sqrt{3}-1) - \sqrt{2}$ 초 만에 반투명 거울로 돌아온다. 우주선 내에서 양 방향으로 날아간 빛의 속도가 모두  $c$ 에 미달하는 것으로 관측되는 것이다. 더구나 마이컬슨-몰리간섭계 상에서 양쪽으로부터 빛이 돌아오는 시간도 일치하지 않게 되는데 상하운동을 한 빛이 먼저 반투명 거울에 도달하는 것이다(그림 2-1 c 참조).

이러한 결과는 명백히 마이컬슨-몰리실험 결과에 배치되는 것이다. 즉, 마이컬슨-몰리실험과 관련한 이 같은 사고실험 결과는 운동하는 물체에 있어서 길이수축이 물체 자체에만 발생하는 것이며 좌표계 내의 공간 수축을 의미하지 않음을 보여준다.

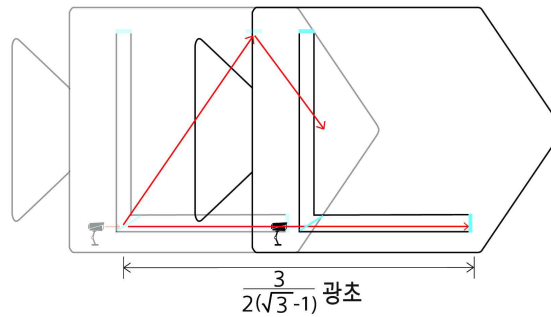
그림 2-2 우주선 내 공간수축이 일어날 경우 마이컬슨·몰리실험

a.  $0.5c$ 로 날아가는 우주선에서 공간수축이 일어날 때 마이컬슨·몰리장치 내 빛의 진행방향



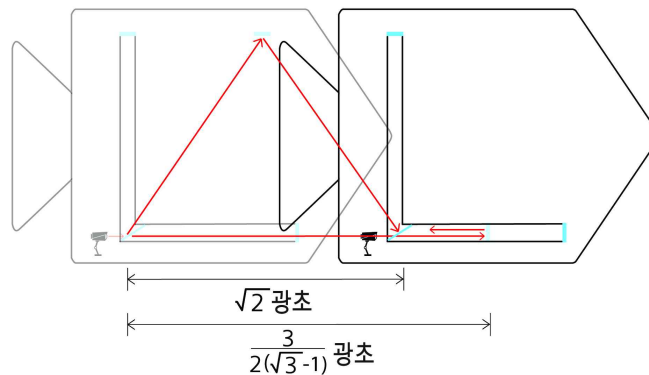
cf) 빛의 속력이 우주선내 공간수축에 대응해 조정되는 경우 빛이 천정거울(A)에 닿도록 하기 위해서는 반투명 거울을 전방  $30^\circ$ 가 아니라 약  $27.4^\circ$ 로 설치하여 빛이 약  $54.7^\circ$ 로 반사되게 하여야 함

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  $30^\circ$ 로, 다른 쪽은 우주선의 진행방향에 대해  $60^\circ$ 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 a 참조).

이제 우주선의 속력이 광속의  $1/2$ 에 이르렀을 때 레이저 빛을 쏜다고 가정해보자. 이 상황에서 마이컬슨·몰리 장치의 양편에 붙어있는 거울을 향해 날아가는 빛이 거울 A, B에 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 적이 조정해야 하며 이때 광원의 위치도 바꿀 필요가 있다. 기차 바닥에서부터 광원과 거울의 높이를 일치시키고 거울은 수평방향에 대해 각각 약  $18.4^\circ$ 와 약  $-8.8^\circ$ 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  $60^\circ$ 로 설치된 ‘빛 통로’는 약  $63.4^\circ$ 의 각도를 가지게 되고 우주선의 진행방향에 대해  $30^\circ$ 로 배치된 ‘빛 통로’는 약  $33.7^\circ$ 의 각도가 된다. 삼각기둥 거울로부터 양편 거울까지 수평방향 거리는 각각  $\sqrt{3}/4$ 과  $3/4$ 으로 축소된다(그림 2-3 b 참조).

$60^\circ$  방향으로 설치된 빛 통로에 있어서의 빛의 운동을 먼저 분석해 보면, 삼각기둥 거울로부터 지면에 대해  $36.9^\circ$  방향으로 날아간 빛은  $5/2\sqrt{3}$ 초 후에 상부 거울(A)에 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  $30^\circ$ 로 방향으로 설치된 빛 통로로 날아간 빛은 어떻게 될까? 이 빛 역시 삼각기둥 거울을 출발하여  $-17.6^\circ$  방향으로  $1/2 + 2/\sqrt{3}$  초 만에 반사 거울(B)까지 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.)

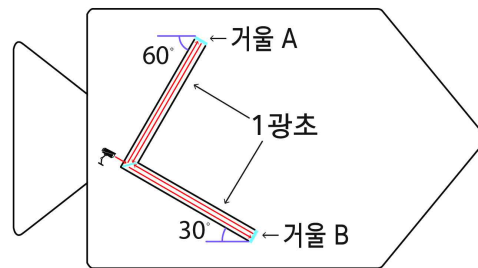
이 사고실험 결과는 길이수축의 본질과 관련하여 중요한 함의를 가지고 있다. 이 사고실험에서 실험장치의 길이수축, 즉 물체의 전후방 길이수축만 적용하면 광속의 항상성, 그리고 동시성 문제가

해결되기 때문이다. 즉, 우주선내 공간수축이나 그에 따른 광속 조정이 필요하지 않는 것이다.

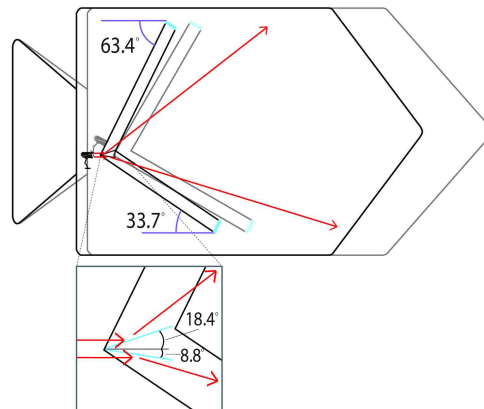
그런데 여기에다 우주선 내의 공간수축 효과를 적용하거나 공간수축에 따른 빛의 운동속력과 빛의 운동경로 조정 등을 고려할 경우, 광속의 항상성이 유지되지 않으며 마이컬슨·몰리 실험 및 동시성 실험 결과와도 합치하지 않게 된다. 결국 우주선의 운동은 우주선과 우주선 내부 물체의 길이 수축을 가져올 뿐 공간의 길이수축을 수반하지 않음을 알 수 있다.

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

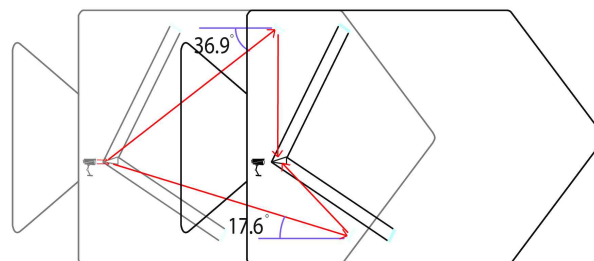
- a. 우주선이 정지해 있을 때 비스듬히 기울인 마이컬슨·몰리 장치의 실험



- b. 우주선이  $0.5c$  속력으로 날아갈 때 비스듬히 기울인 마이컬슨·몰리장치 실험  
→ 반투명 거울 대신 삼각막대 거울을 지면에 대해  $18.4^\circ$ ,  $-8.8^\circ$ 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·몰리 실험장치라는 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 상태에 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 어디까지인가'하는 것이다. 우주선과 마이컬슨·몰리 실험장치에서 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·몰리

실험 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?

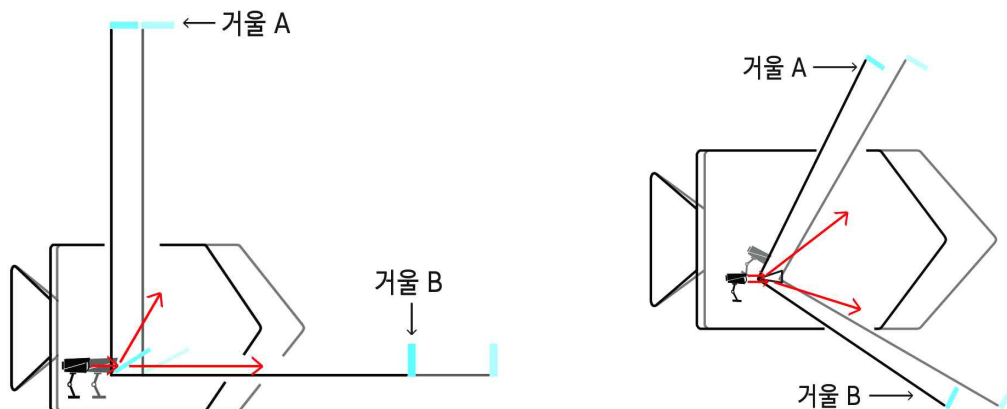
후자의 경우에도, 즉 우주선 밖의 마이컬슨·몰리실험장치에서도 공간수축이 일어난다고 하더라도, 문제가 간단하지 않다. 먼저, 전술한 바 공간수축은 마이컬슨·몰리실험 결과와 상합하지 않는다. 더구나 우주선 외부로 연장된 마이컬슨·몰리 실험장치에서 공간수축이 발생한다면 여기서도 공간수축이 일어나는 영역과 그 경계선이 문제가 된다. 우주선 외부 마이컬슨·몰리 실험장치에 있어서 거울의 형태가 다양할 수 있는데 (예컨대 삼각형, 사각형, 원, 해바라기꽃 모양 등) 이 다양한 형태에 대응하여 수축되는 공간의 형태나 경계가 달라질 것인가?

나아가 이런 의문이 제기될 수 있다. 마이컬슨·몰리 실험장치의 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?

이러한 문제들은 그림 2-4 b와 같이 마이컬슨·몰리 실험장치를 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 미치는 영향을 검토하였다면, 이번에는 날아가는 우주선의 길이수축이 물질(물체)의 운동에 영향을 줄 수 있는지를 분석한다. 만약 우주선의 운동에 따른 길이수축이 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.

총알의 속력이 100m/s인 총을 가지고 있다고 하자. 광속에 가깝게 날아가는 우주선 안에서 이 총을 쏘면 총알의 속력은 어떻게 될까? 0.5c로 날아가는 우주선 안에서 앞쪽으로 총을 쏘면 총알의 속력은  $0.5c + 100\text{m/s}$ 에 가깝겠지만 그보다 조금 느릴 것이다. 이는 로렌츠변환과 특수상대성이론이 설명하는 바다.

우선 0.5c 속력에서는 총알의 질량이 증가하여  $\sqrt{3/2}$  만큼 속력의 감소가 발생한다. 더하여 총알의 속력증가(100m/s) 부분에서도 로렌츠변환이 적용될 것이다. (일단, 후자 부분은 이 분석에서 제외한다.)

다음으로 우주선 내에서의 공간수축 문제가 검토될 수 있다. 우주선 안에서 공간을 포함한 관성계의 수축이 일어난다면 공간의 수축에 대응하여 총알의 속력도 ( $\sqrt{3/2}$ 만큼) 느려지게 될 것이다. 따라서 우주선 내 공간이 수축된다면, 정지 상태에서 100m/s로 날아가던 총알은 (총알의 질량증가에 따른 속력 감소와 함께 공간수축을 동시에 고려하면) 속력이  $0.5c + 75\text{m/s}$ 가 될 것이다. 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? 이러한 현상을 확인하기 위해서는 준광속으로 날아가는 우주선이 필요하다. 하지만 현실적으로 그러한 우주선을 개발하는 것은 불가능함으로, 다시 사고실험을 계속한다.

우주선 안에서 쏜 총알이 우주선의 앞 창문을 관통하여 우주선 밖으로 날아가는 경우를 생각해 보자. 만약 우주선 내 공간이 수축된다면 (우주선 밖에서 볼 때) 총알의 속력이 공간의 수축에 대응하여 느려질 것이며 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 (공기 저항 등이 달라지지 않는다면) 더 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 공간인지가 명확히 분리될 수 있을까? 창문의 형태가 타원형으로 구부러져 있거나 들쭉날쭉한 경우에 수축된 내부 공간과 수축되

지 않은 외부 공간의 경계는 더욱 모호해질 것이다.

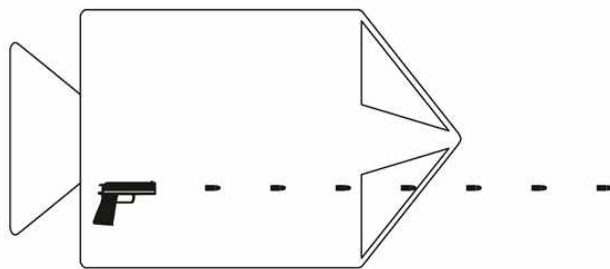
그것은 자동차를 타고 가면서 총을 쏘 때도 발생할 수 있는 문제다. 자동차를 하나의 관성계로 보았을 때 자동차의 운동은 길이수축을 일으키겠지만, 자동차의 운동이 물질(물체)의 길이수축을 넘어서 자동차 내 공간에 영향을 줄지는 의문스럽다. 무엇보다도 수축이 되는 자동차 내부 공간과 수축되지 않는 외부 공간이 구분되지 않는 것이다. 자동차의 옆문이 조금 열린 채 (제대로 잠기지 않은 채) 달리고 있을 때, 앞 창문을 앞쪽으로 조금 열었을 때, 뒤 창문을 뒤쪽으로 열었을 때, 뒤 창문의 일부가 깨어져 있을 때, 자동차 덮개(지붕)가 우그러져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

이상의 질문들에 답하는 것은 현실적으로 불가능하다. 그리고 이렇듯 답할 수 없는 이유는 실제로 달리는 자동차에서 (혹은 날아가는 우주선에서) 내외부가 완전하게 구분되기 어렵기 때문이다. 그것은 수축되는 공간이 특정될 수 없으며, 운동하는 물체만 수축될 뿐 공간이 수축되지 않음을 의미한다.

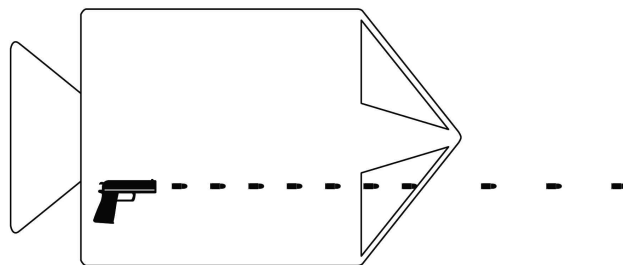
이 사고실험은 운동하는 관성계가 관성운동을 하는 일체의 물질 덩어리이며 공간은 포함되지 않음을 보여준다. 따라서 관성계에 있어서 길이수축, 질량증가, 시간지연을 일으키는 실체도 물질에 한정된다. 그것은 관성운동이 가속도 운동으로 전환되는 경우에도 마찬가지이다. 즉, 물질만이 공간 상에서 운동하며 공간은 물질의 운동에 동반하지 않는다는 것이다.

그림 2-5 우주선에서 총을 쏘 때 총알의 속도 변화

- a. 우주선 내 공간이 수축되지 않는 경우 총알의 속도 → 우주선 내외에서 변화가 없음



- b. 우주선 내 공간이 수축되는 경우 총알의 속도 변화 → 우주선 밖으로 나가면서 빨라짐





## 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. 특수 상대성원리에 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 특수 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(그림 2-6 c 참고). 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 바뀔에 따라 수축 방향과 수축 정도가 달라진다고 볼 수 있다.

그러나 특수 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 없다. 각각의 원자들이 각기 좌표계가 되어 길이가 수축될 뿐 아니라, 운동방향과 속도가 달라짐에 따라 수많은 좌표계가 수축방향과 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.

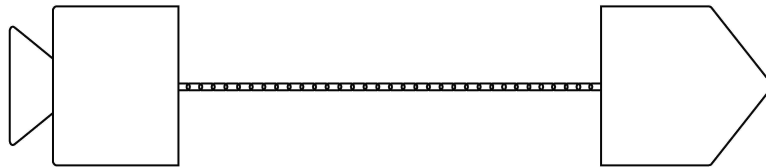
더하여, 이번에는 이러한 체인이나 고리의 요동이 우주선 앞뒤 동체에 영향을 주어서 우주선 자체가 흔들리고 요동치는 경우를 생각해보자. 이러한 요동은 우주선 내의 모든 원자들의 운동에 조금

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.

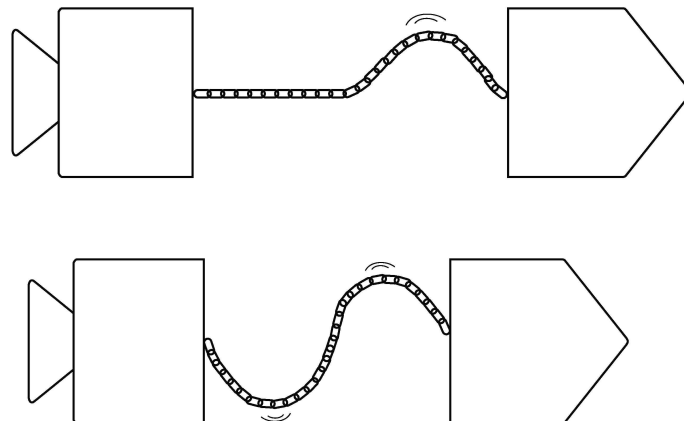
이러한 사실은 물질의 운동에 의한 길이수축이 물질의 길이수축에 한정되며 공간의 수축으로 확대 해석될 여지가 없음을 보여준다. 왜냐하면 (진공의 무중력 공간을 나는) 우주선 내 모든 공간을 물질이 완전히 채우고 있지 않다면 물질이 존재하지 않는 공간은 좌표계를 형성하지 못하기 때문이다. 공기 분자와 같은 물질이 차지하지 않은 공간은 길이수축 비율이 정해지지 않으며 결국 수축하지 않는 것으로 보아야 할 것이다. 또, 우주선 내 모든 공간을 물질이 완전히 채우고 있다면 모든 공간이 제각기 달리 수축될 것이며, 결국 길이수축은 공간이 아니라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

그림 2-6 우주선의 앞뒤 부분을 체인으로 연결한 경우

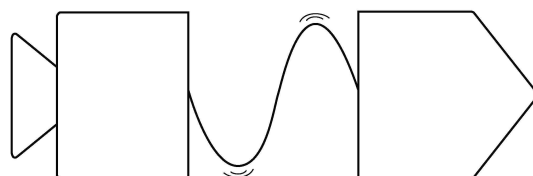
a. 우주선 앞뒤 부분을 연결하는 체인



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). 특수 상대성원리가 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? 특수 상대성원리 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 특수 상대성원리 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 특수 상대성원리에 의하면 앞뒤 동체가 동일 방향과 속도를 유지한다면 하나의 관성계를 유지하고 있다고 할 것이며, 이는 앞뒤 동체 뿐 아니라 그 사이의 공간이 수축되어 있다는 것이다.

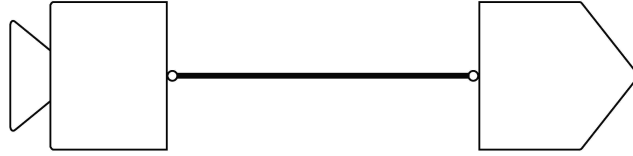
이제, 앞뒤 동체 사이 수축된 공간에 우연히 소행성이 (등속으로) 지나가는 경우를 생각해 보자(그림 2-7 e 참조). 동체 사이 수축된 공간을 통과하는 소행성(과 그 관성계)은 어떤 방향으로 수축될 것인가. 본래 날아가는 방향으로 소행성의 관성계가 수축되어 있었을 텐데, 수축된 좌표계(공간)에 들어감으로써 다른 방향의 길이수축이 동시에 발생할까? 소행성의 일부만이 이 수축된 좌표계(공간)에 들어가고 나머지 부분은 그 바깥쪽을 통과하고 있다면 그 일부분만 수축될 것인가?

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.

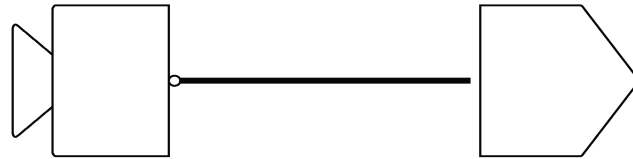
이 사고실험이 의미하는 바는 우주공간상의 운동에 따른 길이수축은 물체(물질)의 길이수축이며 공간의 수축 혹은 좌표계의 길이수축이 아니라는 사실이다.

그림 2-7 앞뒤 동체가 쇠막대로 연결된 우주선

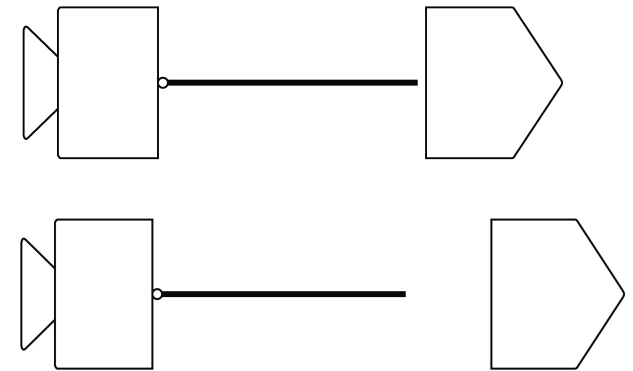
a. 앞뒤 동체가 쇠막대로 연결된 우주선



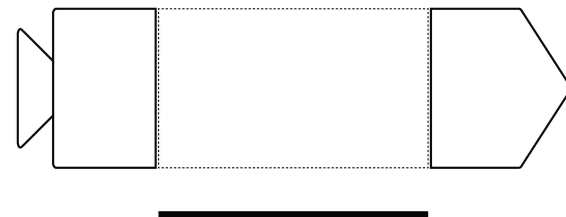
b. 앞 동체와 쇠막대 사이 연결고리 제거



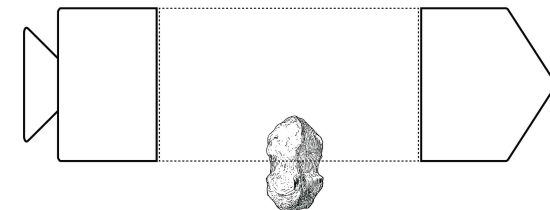
c. 우주선 앞뒤 동체의 속력 증가에 의한 길이 수축 효과



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 개념은 공간을 물리적 실체로 간주하기 때문에 가능한 것이다. 결론적으로 말하자면 아인슈타인의 상대성이론은 뉴턴의 공간실재론을 계승한 것이다.

물론 이 점에 대해서는 논란이 있을 수 있다. 특수·일반상대성이론을 발표하였을 당시 아인슈타인은 마흐의 공간부재론을 적극적으로 지지하고 있었고 사실 상대성이론 자체가 마흐의 공간론에 입각해 있었다. 사실, 특수 상대성원리는 이러한 공간부재론을 기반으로 하고 있었고 공간이 부재하다면 특수 상대성원리에 큰 모순이 없어 보인다. 하지만 상대성이론에 대한 연구가 진행되면서 상대성이론의 방정식이 공간의 존재를 부정하지 않음이 명확해졌다. 만년의 아인슈타인은 특수상대성이론이 공간실재론을 수용하지 않을 수 없음을 인식하고 있었다. 아인슈타인은 만년(1952)에 쓴 논문에서조차 공간의 실재를 부정한 라이프니츠와 마흐의 견해에 동조하는 듯한 견해를 피력하기도 하였지만, 궁극적으로 상대성이론 방정식이 공간실재론을 지지하며 그것과 상합함을 인정하지 않을 수 없었다. 그는 공간이 물질을 운반하는 관성계의 틀이라는 표현을 사용하기도 하였다. 특히, 일반상대성이론에서 제시된 ‘물질의 중력이 공간을 휘게 한다’는 개념은 절대공간을 부정하지만 공간의 존재 자체는 수용하는 공간실재론적 관점이다.

공간실재론의 관점에서 보면 공간이 우주를 빈틈없이 메우고 있다. 우주의 어떤 부분에 물질이나 에너지가 존재하지 않고 비어 있을 수 있지만 공간이 부재할 수는 없다. 이는 뉴턴의 공간 연속성 개념이지만 공간의 실재를 인정하는 학자들 중에서 공간의 연속성을 부정하거나 부분적인 부재(결여)의 가능성을 주장하는 경우는 전혀 없다.

이런 관점에서 볼 때 물질의 운동(혹은 중력)이 좌표계를 수축시켜서 물질들 뿐 아니라 공간도 수축될 것이라는 상대성이론은 문제를 내포한다. 물질의 수축과 공간의 수축은 차원이 다르기 때문이다. 예컨대 우주선의 길이수축 효과를 생각해 보자. 만약 우주선의 길이수축 현상이 물체(물질)의 수축에 그친다면 아무런 문제도 될 수 없겠지만, 공간의 수축을 포함한다면 수축된 부분만큼 공간의 결여(부재) 문제가 발생하는 것이다. 공간은 일시적으로 혹은 상시적으로 연속성이 사라지고 단절(결여)될 수 있는 것일까?

공간의 결여 문제는 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 물체와 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 중복 문제는 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 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 휘다고 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 2가지이다.

하나는 라이프니츠, 마흐의 공간부재론으로 돌아가는 것이다. 공간이 존재하지 않는다면 애초에 공간의 결여나 공간의 중복 문제는 일어나지 않을 것이다. 그러나 현대 물리학은 공간의 존재를 인정한다. 특히 상대성이론은 공간의 실재를 지지하는 이론이다(Greene, 2004).

다음은 공간이 실재하지만 물질과 함께 이동하지 않고 고정되어 있다고 보는 관점이다. 물질이 공간상에서 운동할 뿐 공간은 그것과 관계없이 정지해 있다고 간주하는 것이다. 공간이 항상 정지해 있다면, 물질이 고정된 공간 속에서 운동하는 것이라면 공간의 결여나 중복 문제는 발생하지 않을 것이다. 이것이 우리의 경험적 관찰과 직관에도 부합하는 뉴턴의 절대공간론이다.

그런 점에서 물질의 길이수축도 물질 자체의 수축에 한정되고 공간에 영향을 미치지 않는다고 보는 것이 우주공간을 모순 없이 설명하는 방법이다. 관성계(좌표계) 문제는 절대공간에 대한 물질의 관성운동(본 연구의 가설 1, 가설 4)으로 충분히 설명된다.

### 3.3 시간지연 : 시공간은 연속적인가?

아인슈타인이 제안한 특수 상대성원리라는 가정은 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. 더하여 시간과 공간은 서로 연속적이며 하나의 좌표계를 형성한다고 주장한다. 소위 4차원의 시공간연속체 개념이다.

아인슈타인이 이와 같은 혁명적인 가설을 제출할 수 있었던 것은 19세기 후반의 전자기학의 발전과 마이컬슨·몰리실험이 토대가 되었다고 할 수 있다. 빛의 속도가 광원이나 관찰자의 운동에 관계없이 일정하기 위해서는 시공간의 변화(팽창, 수축)가 요구된다는 것이다.

그러나 우리는 앞의 사고실험들에서 광속불변이 시간 팽창과 물체의 길이수축으로 설명될 수 있으며 공간의 수축은 불필요하다고 논증하였다. 즉, 시간과 공간은 함께 변화되지 않으며 연속되어 있지도 않은 것이다.

한편으로 브라이언 그린은 아인슈타인의 특수상대성이론이나 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(Greene, 2004).

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

#### 사고실험 3-1 : 회전하는 물통에 부착된 시계(1)

뉴턴이 제안한 사고실험과 같이 우주의 무중력 공간에 커다란 물통이 하나 있다. 다만 이 물통에는 물이 들어 있는 대신에 물통의 상부에 막대가 설치되어 있고, 그 한 가운데와 가장자리에 시계가 부착되어 있다. 그리고 두 시계의 가운데 지점에 전등이 설치되어 있다(그림 3-1 참조). 두 시계는 빛이 닿으면 광전효과에 의해 작동을 시작한다.

이제 전등을 켜서 시계가 작동하도록 한 후 물통을 회전시킨다. 물통을 점점 더 빠른 속도로 회전시켜 물통의 회전속도가 고속에 이르게 한다. 그리고 나서 물통의 회전 속도를 낮추어 완전히 멈추게 한 후 두 시계를 전등이 있는 위치로 가져온다. (시계를 가져오지 않고 전등 위치에서 양쪽 시계를 한꺼번에 보아도 된다.) 두 시계의 시간을 서로 비교해 보자.

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

그러나 우주공간에서의 물질의 운동이 단순히 상대운동이라면 시계 A, B의 시간지연 효과는 단

정하기 어렵다. 물통이 회전하지 않고 우주가 반대방향으로 회전했다면 물통의 시계는 둘 다 시간지연이 일어나지 않아야 한다. 그리고 물통이 회전 운동을 한다고 하더라도 그 중심점을 물통의 가운데로 잡지 않거나 물통 외곽의 시계를 운동의 중심으로 잡는 것도 가능하다. 이 경우 물통에 부착된 시계 중 어느 것이 얼마나 느려질지 단정할 수 없다.

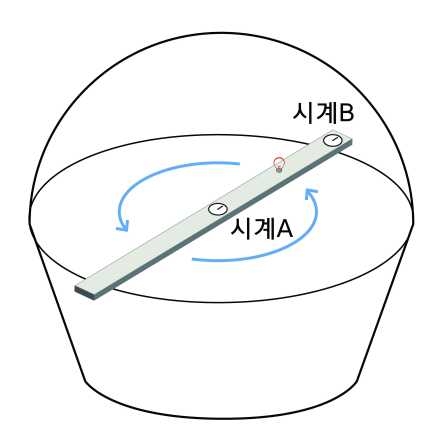
하지만 우리가 아는 한 그런 일은 일어나지 않는다. 실제로 우주의 무중력 공간에서 팽이 형태의 우주 실험실을 회전시키면 바깥쪽으로 갈수록 원심력이 커지며 중력과 동일한 가속력이 작용하는 것이다. 이는 무엇을 의미하는가? 공간상에서의 물질의 운동이 단순히 상대적이지 않다는 것이다.

그리고 이 사고실험은 물질로서 시계의 진행속도가 느려졌으며 공간과 연계된 실체로서 시간이 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 진동이 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 하는 것이다(특수 상대성원리는 사실 이렇게 가정한다).

그렇다면 공간이 물체의 운동에 동반될 수 있느냐는 문제가 대두되지만, 일단 이 본질적인 문제를 차치하고서라도 시계의 내부공간과 외부공간이 명확히 구분될 수 있느냐 하는 문제가 제기된다. 그것이 소형 시계든 벽걸이 시계든, 시계의 내부와 외부 경계는 명확하지 않다. 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 의미한다.

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 차지하고 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.

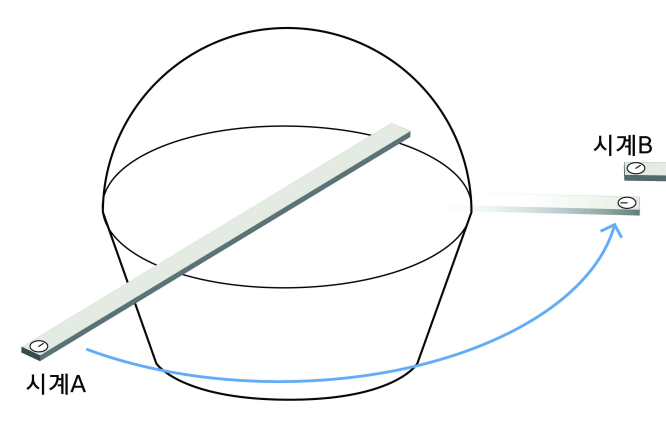
이 사고실험은 시계의 시간지연 효과는 공간이 아니라 물질에 의존하고 있음을 보여준다. 만약 시간이 시공간에 의존하거나 시간과 공간이 서로 연속되어 있다면 시계 A가 시계 B의 위치(공간)에 이르는 순간 시계 A의 시간 흐름이 시계 B의 그것에 맞추어졌어야 할 것이다. 그러나 실제로는 시계 B가 위치해 있던 공간은 시계 A가 다가오기 전까지는 시간지연이 나타나지 않았지만 시계 A가 그 자리를 차지하는 순간 시간 흐름이 늦어진다. 그리고 시계 A가 지나가는 순간 원래의 상태로 돌아오는 것이다. 이는 공간이 아닌 물질이 시간을 결정하고 있음을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

물론, 이 문제에 대해 특수 상대성원리의 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(사고실험 2-8 : 공간의 결여와 중복 참고). 현대물리학, 특히 상대성이론은 공간을 단순히 비어있는 부재의 상태(라이프니츠, 마흐 관점)로 보지 않고 고유한 특성을 가진 물리적 실체로 파악한다. 이 문제에 대해 상대공간론(특수 상대성원리)은 어떤 대답을 할 수 있을까?

그림 3-2 회전하는 물통에 부착된 시계 실험(2)



### 사고실험 3-3 : 행성이나 운석의 시계

태양계에는 무수히 많은 행성, 소행성, 혜성, 먼지들이 떠돌아다니고 있다. 지구도 이 중 하나로 간주할 수도 있을 것이다. 그런데 지구에서의 시간 흐름과 지구 공전 궤도상의 무중력 공간에서의 시간 흐름은 차이가 있다. 이는 인공위성에 실린 시계를 통해서도 확인되는 것인데 중력과 물체의 운동 속력이 시간의 진행에 영향을 미치기 때문이다.

지구 궤도상의 특정 지점에 지구라는 물체가 들어서는 순간을 생각해 보자. 이 공간은 지구가 들어서기 전에는 무중력 공간으로서 시간지연이 거의 일어나지 않았을 것이다. 그런데 지구가 가까워지고 진입하면 시간 흐름이 급격히 바뀌어 시간지연 효과가 나타난다. 물론, 지구가 지나가면 다시 원래의 상태로 돌아갈 것이다. 여기에 지구 내부의 중력 세기 변화(지구의 내부로 갈수록 중력이 커진다)를 감안하면 지구가 이 공간을 지나가는 동안에도 시간흐름은 계속해서 변하게 된다.

이번에는 태양계를 떠도는 소행성이나 운석에 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 경로와 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 진행 속도가 그것을 구성하는 물질들의 자체 진동(기초 진동)에 의해 결정된다고 한다면 물질의 자체 진동은 물질 자체의 상태에서부터 직접적으로 영향을 받는 것이다.

이러한 지적에 대해 상대론자들은 지구나 소행성, 운석의 관성계에 시공간이 포함된다고 반론을 제기할 것이다. 그렇다면 우리는 앞의 사고실험들에서 제기했던 여러 문제들에 더하여 이런 질문을

추가적으로 제기할 수 있다. 지구(혹은 소행성, 운석)의 관성계 범위는 어디까지이며 어디까지의 공간이 지구와 함께 운동하고 있는가. 말하자면 지구 상공의 어디까지가 지구 관성계에 포함되는지 확정할 수 있느냐 하는 것이다. 이론적으로 보자면, 지구 중력은 거리의 제곱에 반비례하여 약해지고 지구 중력의 범위는 무한한 것이어서 지구 관성계를 확정하는 것은 불가능하다.

### 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 요동은 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 것이며 나아가 원자들의 요동에 따라 지속적으로 시간 속도의 변화가 일어날 것이다.

나아가 일반상대성이론에 의하면 모든 물질은 중력을 가지며 중력의 정도에 따라서 시간 흐름이 다르게 된다. 그렇다면 우주선 내에서도 그 위치에 따라서 중력이 모두 차이가 있으므로 시간도 다르게 진행될 것이다. 우주선의 앞부분과 뒷부분 그리고 가운데 부분의 중력이 조금씩 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 흐름이 다를 것이다. 즉, 우주선 내 어떤 위치(혹은 원자)도 동일하게 시간이 진행되지 않는다는 것이다. 만약, 여기에 우주선의 진동효과가 더해진다면 우주선의 모든 원자들이 각기 다른 시간 진행을 가질 뿐 아니라 지속적으로 시간 속도가 변화될 것이다.

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. 그렇다면 우주선 내 모든 물질은 각기 다른 운동과 다른 시간 흐름을 갖는다고 할 수 있다.

이러한 사실들은 물질의 운동에 의한 시간지연이 개별 물질의 자체 진동(기초진동)에 의한 것이며 좌표계(관성계) 내의 공간과 연관하여 해석될 여지가 거의 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 수준으로 환원될 것이다. 그렇다면 시간은 우주선 전체 좌표계와 공간이 아니라 개별 물질(원자나 그보다 작은 수준)에 의존하는 것으로 보아야 한다.

우주선 내 공간이 물질로 완전히 채워져 있지 않은 경우에는 더 심각한 문제가 발생한다. 개별 원자가 각기 운동속도가 다르다면 우주선 내 빈 공간의 운동 속도가 정해질 수 없는 것이다. 또 개

별 원자가 각기 좌표계를 형성하고 시간흐름과 길이수축, 질량증가가 상이한 상황에서는 빈 공간은 좌표계를 형성하지 못하며 좌표계의 일부도 될 수 없다. 그 결과 (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.

### 3.4 종합

이 장에서는 다양한 사고실험들을 통해 특수 상대성원리와 상대공간 개념을 비판하고 대신에 절대공간의 타당성을 제시하였다. 더하여 상대성이론에 있어서 길이수축 현상이 물질의 수축이며 공간의 수축을 포함하는 것이 아님을 논증하였고, 물질의 운동이나 중력에 의한 시간지연 현상 역시도 물질의 자체적인 특성이며 시공간이 연속되어서 나타나는 효과가 아님을 규명하였다.

먼저, 특수 상대성원리(상대공간)에 대한 비판과 절대공간의 타당성 부분을 정리해 보면 다음과 같다. 이 사고실험들은 다양하게 구성되어 있는데, 앞의 여섯 가지 실험들은 광속에 가까운 운동을 전제로 하여 등속운동을 하고 있는 사람이 외부세계가 아니라 자신이 운동한다는 사실을 확인하는 방법을 검토하였다. 이 사고실험 결과들은 시계와 각도계가 보다 정밀해지면 보다 낮은 속도에서도 실험과 측정이 가능해질 것이다. 사고실험 1-1과 1-2의 동시성 실험과 사고실험 1-3의 우주선에서 레이저 광선총을 쏘는 실험은 멀지 않아서 제트기나 우주선에서 실험과 측정이 가능해질 것이다.

이 사고실험 결과들은 아인슈타인의 특수 상대성원리에 모순된다. 특수 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 특수 상대성원리는 부정되며 절대공간의 타당성이 증명될 것이다.

그리고 ‘달리는 기차에서 본 외부시계’에 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 특수 상대성원리와 모순되며, 이러한 관점에서 본다면 쌍둥이 역설도 자연스럽게 해명된다.

또, 마주보며 달리는 기차 실험은 우주공간에서 날아가는 물체들 간의 상대속도가  $1c$ 를 넘어설 수 있음을 보여준다. 이는 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.

이 연구에서 제안된, 쌍둥이 역설에 관한 사고실험은 쌍둥이 역설이 특수상대성 이론에 위배됨을 드러낸다. 형이 탄 우주선이 달처럼 가까운 거리를 갔다가 돌아오는 아주 먼 거리를 다녀오는 가속도 운동과정에서만 시간지연이 발생한다는 논리는 등속운동 과정에서는 로렌츠변환이 발생하지 않는다는 것을 의미하기 때문이다. 그리고 일반상대론이 분석하고 있는 가속도 운동이 상대운동이 아닌 절대운동이라고 한다면 절대공간의 존재를 부정할 수 없게 된다.

종합컨대 이 사고실험들은 모든 운동하는 관성계는 서로 상대적이며 절대적인 운동 기준이 존

재하지 않는다는 특수 상대성원리에 반하는 것으로 볼 수 있다. 하지만 그것은 상대성이론의 방정식을 포함한 상대성이론 전체를 부정하는 것이 아니다. 오히려 상대성 이론의 방정식이 특수 상대성원리를 토대로 해야 할 필요가 없으며 그것과 상충됨을 지적한다. 그리고 상대공간 개념을 대체할 뉴턴의 절대공간 개념의 타당성을 논증하고 있다.

다음에는 길이수축의 본질에 관한 문제가 집중적으로 논의되었다. 길이수축에 관한 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. 또 그 영향으로 우주선의 앞뒤 동체가 요동한다며, 우주선 내 모든 원자가 제각기 운동한다고 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 기준에 의해 수축될지 그러한 수축이 어떻게 계속 변화될지 논리적으로 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 이동한다면 공간의 중복과 결여 문제는 피할 방법이 없을 것이다.

이 사고실험들과 분석은, 결과적으로 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 중력에 적용되지 않는 것이다. 그렇다면 물질의 운동에 의한 좌표계의 길이수축 역시 물질 자체에 제한되는 현상이 아닐 수 없다.

마지막으로, 시간지연과 관련된 사고실험들이 제시되고 분석되었다. 그것들은 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.

회전하는 물통과 관련된 시계 실험은 시간이 특정한 공간을 기준으로 지연되거나 변환하는 것이 아니라 시계라는 물질의 운동으로부터 직접적으로 영향을 받는다는 사실을 보여준다. 이는 지구의 시계나 소행성, 운석에 부착된 시계도 마찬가지이다. 더하여 요동하는 우주선에 있어서의 시간지연 문제도 같은 결론에 이른다.

만약 시간과 공간이 직접적으로 연계되어 있고 상호 연속적이라면 길이수축과 시간지연 간에 상호작용이 존재해야 할 것이다. 그러나 운동하는 물체는 시간지연을 일으키지만 시간지연은 물질이

속한 (공간을 포함하는) 관성계와 직접적인 관련이 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 이후부터 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 특수 상대성원리(상대공간)에 대해 뉴턴의 절대공간 개념을 대체하고 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.

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 준광속으로 달리는 기차에서의 빛의 운동을 상정하고 있는데 빛이 기차의 운동에 영향을 받지 않는다고 본다. 사고실험 2-1에서와 같이 기차 안에서 빛의 왕복시간을 측정할 경우 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.

결론적으로, 이 실험들은 본 연구의 가설과 부합하며 본 연구의 관점에서 충분히 설명된다. 하지만 특수 상대성원리의 관점 혹은 아인슈타인의 시공간론의 관점과는 충돌한다고 판단된다. 만약, 운동하는 물체(혹은 좌표계)에 있어서 이러한 길이수축, 시간지연, 질량증가 현상이 실제로 나타난다면 반대편 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 만들어진다. 뮤온입자의 수명은 약 2.2ms(마이크로 초)에 불과한데 뮤온입자가 지표면에 도달하기 위해서는 최소한 200ms가 필요하다. 그래서 이론적으로 뮤온입자가 지표면에 도달하는 것은 불가능하다. 하지만 뮤온입자는 지상에서 관측되는 것이다. 학자들은 이 현상을 설명하는 과정에서, 0.99c 속력으로 날아가는 뮤온에 있어서 시간지연 효과가 작용한 것으로 해석하고 있다. (여기까지는 특수상대성이론의 방정식이나 필자가 제시한 가설이 모두 동의하는 부분이다.)

그런데 상대론자들은 특수 상대성원리의 관점에서 뮤온 수명 문제를 확장한다. 즉, 뮤온의 입장에서는 뮤온의 준광속운동이 시간지연을 일으켜 뮤온의 수명이 늘어난 것이 아니라 뮤온의 외부세계가 반대로 운동하면서 길이수축을 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 상쇄되어 버린다면 뮤온은 지상에 도달하지 못할 것이다.

그간 뮤온의 수명과 지상도달 문제에 특수 상대성원리를 적용하면서 지구 및 우주의 길이수축과 함께 시간지연 측면을 고려하지 않은 것은 미스터리한 일이다. 이 관측 결과는 특수상대성이론의 타당성을 검증하지만 특수 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 실시하였다. 흔히 이 실험결과 제트기에 실린 시계가 느려진 것으로 알려져 있지만<sup>11)</sup> 사실은 실험결과가 좀 더 복잡하다.

이들은 동일하게 제작된 원자시계(총 8개)를 동쪽으로 날아가서 지구를 한 바퀴 돈 후 제자리에 돌아오는 제트기와 서쪽으로 날아서 돌아오는 제트기에 싣고 나머지는 지상에 남겨 두었다. 그 결과 동쪽으로 날아간 제트기에 실린 시계가 59/10억초 느려진 반면 서쪽으로 날아간 제트기에 실린 시계는 273/10억초 빨라진 것을 확인하였다. 물론 지상의 원자시계와 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?

특수 상대성원리에 의하면 지구를 어느 방향으로 돌더라도 운동이 상대적이라고 볼 수 있다. 그런데 동쪽으로 돌아온 제트기의 시계는 느려지고 서쪽으로 돌아온 제트기의 시계는 빨라졌다면 이를 설명하는 것은 쉽지 않다.

이에 대해 본 연구의 관점은 이 문제에 대한 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 당

11) 브라이언 그린(20004) 등의 여러 저서와 논문들에서 이와 같이 설명하고 있다.

연히 지구상의 물질들의 진동주기에 영향을 주어 시간을 느리게 만들 것이다. 지구는 서에서 동으로 회전하는데 제트기가 서에서 동으로 돌아서 24시간 만에 제자리로 돌아오기 위해서는 지구의 자전 속도보다 2배로 날아야 한다. 즉, 절대공간의 관점에서 보면 제트기는 24시간 동안 지구의 자전속도의 2배로, 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 돌아왔다면 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 제트기에 실린 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 명료하게 설명이 가능하다. 절대공간 상에서의 운동속력이 세 시계의 진행속도에 영향을 준 것이다.

참고로, 이런 의문이 제기될 수 있다. 서쪽으로 날아간 제트기의 원자시계가 빨라진 시간(273/10억초)이 동쪽으로 날아간 원자시계가 느려진 시간(59/10억초)보다 긴 것은 무슨 이유일까? 그에 대한 대답은 어렵지 않다. 제트기의 가속이나 감속 등 여러 요인들이 작용했겠지만, 무엇보다도 제트기의 고도에서는 지구의 중력이 약해지기 때문에 양쪽 시계의 흐름이 빨라진 것이다.

#### **실제 실험 및 관측 1-4 : 인공위성과 GPS**

오늘날 휴대폰이나 자동차의 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. 특수 상대성원리의 관점에서 인공위성의 운동으로 인한 시간지연 효과를 어떻게 설명할 것인가? 특수 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 특수 상대성원리가 작용하지 않음을 의미한다. (이 문제에 대해서는 사고실험 1-7과 사고실험 1-8에서 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 검증 작업이 진행된 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 자이로스코프 실험, 중력과 검출 등 놀랄만한 연구 성과들이 있었고, 이 모든 것들은 아인슈타인의 일반상대성이론이 얼마나 정확한지를 확인시켜준다.

그러나 이러한 실험과 관측결과가 아인슈타인이 설명하듯이 특수 상대성원리와 시공간의 연속성을 증명하는 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 태양 주위를 공전하는 수성이 태양과 가장 가까워지는 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 정교화 한 것으로 볼 수 있다.

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

뉴턴이 절대공간을 증명한 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(Greene, 2004).

### 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. 이를 검증하기 위한 본격적인 조사가 1919년에 실행되었다. 에딩턴을 중심으로 한 영국 조사팀은 아프리카와 남미에서 개기일식 시 별빛이 휘는 각도를 관측하였고 일반상대성이론의 방정식과 예측이 옳았다고 공표하였다.

이를 계기로 아인슈타인은 일약 유명 인사가 되었고 상대성이론은 뉴턴 역학을 대체하여 정상 과학의 자리를 차지하였다. 나아가 아인슈타인이 내놓은 특수상대성 이론의 두 가지 가정과, 상대성 이론의 방정식에 대한 과감한 해석들도 과학계의 정설로 받아들여졌다. 그는 특수상대성이론을 발표하면서 특수 상대성원리와 광속불변 가정을 제안하였는데 그것들이 과학계의 공리로 인정되었고, 시간지연과 함께 제안된 공간수축 가설도 전폭적으로 수용되었다. 시간과 공간이 서로 연속된 4차원 시공간연속체라는, 경험적으로 전혀 검증되지 않고 논리적으로도 이해되는 않는 아이디어가 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. 19세기 초 독일의 물리학자인 졸트너(J. G. Soltner)가 뉴턴의 중력장방정식을 활용하여 도출한 태양 주위에서 별빛이 휘는 각도는 0.875초이다. 아인슈타인은 정확히 그 두 배인 1.75초를 계산해낸 것이다(송은영, 2010). 일반상대성이론은 뉴턴의 중력모형을 기본으로 하여 그것을 보다 정밀하게 보정한 것으로도 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 시계는 4층의 시계보다 시간이 느리게 가겠지만, 보다 정밀하게 측정할 수 있다면 아파트 각층의 가구배치나 사람의 이동 따위로부터도 영향을 받을 것이다.

이 사실이 의미하는 바는 분명하다. 말하자면 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 시사한다. 시간이 산소분자 혹은 원자의 위치와 운동 상태에 따라 각 원자별로 달리 결정되며, 특정 위치나 공간에 의해 정해지지 않는다는 것이다. 더구나 시간의 흐름이 실제로 나타나는 것도 시계의 진행이나 사람의 노화와 같은 물질적 흐름을 통해서이다.

결국, 시간흐름에 대한 보다 정밀한 측정은 시간흐름이 개별 물질에 수반되어 일어난다는 사실을 드러내며, 시공간의 연속성이라는 개념을 오히려 반박하는 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 광자의 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

중력측정위성-B(Gravity Probe B: GP-B)를 활용한 자이로스코프 실험은 지상의 공간이 지구 중력의 영향을 받아서 휘어져 있음을 검증한 것으로 주목을 받았다. 이 실험 역시 일반상대성이론의 정확성을 확인한 현대 물리학의 주요 업적이 아닐 수 없지만, 일반상대성이론의 방정식의 타당성과 그것을 시공간의 변형으로 해석하는 것은 다소 별개의 문제라고 생각된다. 자이로스코프 실험이 중

력장에 관한 일반상대성 이론의 공식이 얼마나 정확한지 보여주었다고 하더라도 시공간의 뒤틀림을 확인한 것으로 간주하는 것은 실험 결과를 넘어선 확대 해석일 수 있다.

무엇보다도 중력장 개념이 뉴턴의 중력모형에서도 도출될 수 있듯이 지구의 중력이 자이로스코프의 운동에 영향을 미친다는 사실이 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. 상대론자들은 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 것인가?

나아가 시공간의 휨이라는 개념과 거리에 제곱에 반비례하여 약화되는 중력의 성질이 상합할 수 있는지도 의문이다. 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 위치, 질량, 운동이 변화됨으로 그에 따라서 시공간의 교직이 미세하게나마 지속적으로 변형되어야 한다.

전자기력을 고려하면, 시공간의 휨이라는 아이디어(해석)는 더 복잡한 문제로 연결될 수 있다. 시공간이 중력에 의해서 휘다면 전자기력에 의해서도 휘어야 하지 않을까 하는 의문이 그것이다. 상대론자들이 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 모든 물질에 작용하는 반면 (나아가 질량을 가지지 않은 전자기파에도 부분적으로 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. 달리 말하자면, 전자기력은 물질들 간에 직접 작용하는데 중력은 왜 물질들에 직접 작용하지 못하고 공간을 매개로 해서 작용하는지 해명해야 한다는 것이다. 만약 전자기력이 공간을 휘지 않고도 인력으로 작용할 수 있다면 중력도 같은 방식(중력미자 등)으로 작용할 가능성이 있다. 아인슈타인은 중력장과 전자기장이 통합된 통일장 이론을 장기간 탐구하였고 수차에 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 발생

한 파동이다. 이 때 유실된 태양의 3배 정도의 블랙홀의 질량이 중력파로 빠져 나간 것을 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 분명하지 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 있다. 그것은 지구라는 물체가 중력장을 형성하여 시간흐름에 영향을 주고 길이의 변화에 작용하는 것과 다를 바 없다. 그리고 빛이 광자의 흐름이듯이 중력을 중력미자라는 입자의 흐름으로 간주한다면, 중력파의 검출이 뉴턴의 절대공간 개념에 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 천체에서도 동일한 현상이 나타난다는 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 있는 것이다.

아인슈타인의 일반상대성이론이 예측한 또 다른 성과는 블랙홀이다. 블랙홀은 물질이 고도로 응축되어 밀도가 극대화된 천체인데, 빛이 블랙홀 근처에서 상당히 휨 뿐 아니라 사건의 지평선(event horizon)에서 부터는 블랙홀 속으로 끌려 들어간다고 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, 뉴턴의 중력방정식을 토대로 해서도 이러한 논의가 있었던 것이다. 또, 빛이 중력에 의해 휨 수 있다면 극단적인 경우에는 끌려 들어갈 수도 있기 때문이다.

### 4.3 종합

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

그러나 우리는 그간의 실험과 관측들이 상대성이론의 방정식의 정확성을 검증하였을 뿐, 그것이 상대성이론의 가정으로서 특수 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.

그리고 특수상대성이론과 관련된 실험 및 관측들을 검토하면서, 이 실험 및 관측 결과들이 상대 공간, 특수 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 특수 상대성원리를 적용하는 것이 무리가 있음을 지적하였다. 또, 뮤온의 수명(입자붕괴) 문제에 있어서도 특수 상대성원리를 적용하는 것이 모순을 일으킨다는 점을 설명하였다. 뮤온의 시간지연을 외부세계의 공간(길이) 수축과 동등한 것으로 흔히 간주하지만 이는 외부세계에 있어서 시간지연을 고려하면 동등하게 볼 수 없다. 더하여 제트기에 실려서 지구를 양방향으로 돌아온 원자시계 실험은, 절대공간에 대한 운동으로 볼 때 실험결과가 명확히 해명된다고 할 것이다. 그리고 인공위성(GPS)의 시계의 경우에도 특수 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 검증해왔다. 하지만 그것이 시공간의 연속체 가설과 중력에 의해 시공간이 왜곡된다는 아인슈타인의 해석을 입증하는 것은 아니라고 생각된다. 수성의 근일점 이동도 그러하지만, 별빛이 태양 주위에서 휘는 현상도 공간의 휨으로만 설명될 수 있는 것이 아니다. 뉴턴의 중력장 방정식을 활용하여 빛이 중력에 의해 휘다는 것이 19세기 초반에 독일 과학자 졸트너에 의해 이미 예측되었으며 다만 일반상대성이론의 방정식이 보다 정확히 별빛이 휘는 각도를 추산한 것이다. 지구의 중력에 의해 시간이 지연되는 현상은 최근 원자시계의 발전으로 보다 정교하게 측정되고 있는데, 이러한 실험 결과는 시간이 공간과 연속적이라기보다는 물질 자체에 의존하고 있음을 보여준다. 그것은 이 연구의 주요 가설 중 하나이다.

이런 관점에서, 최근 다양하게 수행된 실험 및 관측들은 특수 상대성원리와 시공간연속체 개념, 물체의 운동과 중력에 의한 시공간 왜곡이라는 상대성 방정식에 대한 해석이 논리적 비약을 내포하며, 오히려 절대공간에서의 운동속력과 중력이 물질의 질량증가, 길이수축과 시간지연을 일으키는 것으로 해석해도 사실상 문제가 없음을 보여준다고 판단된다.



## 5. 맺으며

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 바 있다.

그런데 아인슈타인은 자신의 상대성 방정식을 설명하는 과정에서 특수 상대성원리(상대공간)라는 혁명적인 가정을 도입하였다. 그것은 우주에는 절대 좌표계가 없으며 모든 운동은 상대적이라는 것이다(Resnick, 1968). 그리고 이 아이디어는 우주공간이 4차원의 시공간연속체라는 해석으로 발전하였고 그러한 우주관(시공간관)이 지난 100여 년간 현대 과학을 지배해 왔다.

아인슈타인의 상대성이론은 전술한바 가정과 방정식 그리고 방정식에 대한 해석으로 구성되어 있다. 아인슈타인의 상대성 방정식은 이미 수차에 걸쳐 명확히 검증되어 왔다. 특수상대성이론의 방정식과 일반상대성이론의 방정식이 모두 실제 관측 및 실험 결과 타당성이 확인된 것이다. 다만 특수 상대성원리라는 가정과 시공간연속체라는 상대성 방정식에 대한 해석은 여전히 논란이 되고 있거니와 본 연구에서 의문을 가지고 검증하고자 한 것이다. 그런데 특수 상대성원리라는 가정이 상대성이론의 방정식과 결합하면서 4차원 시공간연속체라는 해석이 도출된바, 특수 상대성원리가 보다 기본적 요소이자 문제의 근원이라고 할 수 있다.

본 연구는 특수 상대성원리에 동의하지 않으며 시공간연속체 개념도 수용하지 않는다. 오히려 특수 상대성원리와 시공간연속체 개념의 모순을 밝히는데 이 연구의 목표를 두었다. 아인슈타인의 특수 상대성원리를 수용하지 않은 상태에서 마이컬슨·몰리실험과 로렌츠변환 그리고 상대성이론을 재해석하고자 한 것이다.

본 연구는 뉴턴이 주장한 절대공간론의 관점을 토대로 공간, 시간, 물질의 관계에 대한 7가지 가설을 제시하였다. 그리고 다양한 사고실험을 통해 이 가설들의 타당성을 검증하는 한편으로 특수 상대성원리(상대공간)가 없어도 상대성이론이나 마이컬슨·몰리 실험결과가 설명될 수 있으며 오히려 특수 상대성원리가 상대성이론의 방정식과 모순된다는 사실을 밝히려 하였다. 이 연구의 상당수 사고실험들은 특수 상대성원리를 비판하는데 집중되었고 나머지는 특수 상대성이론에 대한 상대론자들의 해석으로서 4차원 시공간연속체 개념을 반박하는데 맞추어졌다. 그리고 그것의 중심에 아인슈타인식 관성계(시공간 관성계) 개념에 대한 비판이 자리 잡고 있다. 관성계가 물질들로만 구성되며 시공간이 포함되지 않는다면 특수 상대성원리와 시공간연속체 개념은 자연히 부정된다.

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

본 연구의 결과는, 앞에서 제시된 7가지 가설들을 전반적으로 지지하며 그것의 타당성을 논증하고 있다. 즉, 우주는 물질 및 에너지와 절대공간으로 구성되어 있으며 시간은 물질 및 에너지의 진

동으로 설명된다. 절대공간은 물질과 에너지를 담는 그릇으로서, 절대공간은 물질에 대해 독립적일 뿐 아니라 시간에 대해서도 독립적이다. 시간은 양자역학의 진동수 개념에 기초하여 이해된다. 시간은 물질이 가지는 자체 진동과정이지만 모든 상황에서 일률적으로 진행되는 절대시간이 아니다. 물질의 기초진동이 물질의 운동 상태나 중력의 영향을 받기 때문이다. 결과적으로 시간은 공간에 대해 연속되어 있지 않고 물질에 직접적으로 의존한다.

이러한 점에서 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.

이제 이 연구결과를 정리하면서 상대성이론의 근본적인 문제를 다시한번 검토해 보고자 한다. 상대성이론의 방정식에 대한 아인슈타인의 해석은 어디에서부터 문제가 있었던 것일까? 혹은 아인슈타인의 해석과 본 연구의 해석 사이에 근본적인 차이가 어디에 있는 것일까?

이 연구는 아인슈타인이 특수상대성이론을 발표하면서 제안한 두 가지 가정(특수 상대성원리, 광속불변)에서 모든 문제가 연원하였다고 판단한다. 잘못된 가정(전제)에서 잘못된 해석이 도출되었다는 것이다. 사실, 본 연구는 이 두 가정이 상대성이론의 방정식과 모순됨을 밝히기 위해 다양한 사고실험을 제안하였고 그것들에 대한 분석을 통해 이들 간의 모순이 입증되었다고 본다.

본 연구는 그 중에서도 특히 특수 상대성원리라는 가정이 이 모든 오류를 가져온 핵심적 원인으로 파악한다. 그것이 직접적으로 상대공간 개념으로 연결되고, 궁극적으로 시공간연속체 개념과 함께 물질과 시공간의 상호작용이라는 거대 가설로 확장된 것이다.

특수 상대성원리를 보다 구체적으로 들여다보면, 특수 상대성원리의 토대에는 아인슈타인식 관성계(혹은 좌표계) 개념이 자리 잡고 있다. 아인슈타인의 관성계 개념은 전기와 후기에 있어서 상이하다고 할 건인데, 전기 아인슈타인은 마흐의 공간부재론에 영향을 받아 절대공간이 존재하지 않는 상태에서 물질들 간 상대운동을 전제로 하는 관성계 운동을 생각하고 있었다. 그러나 후기 아인슈타인은 공간의 존재를 인정하지 않을 수 없었고 이에 따라 새로운 관성계 개념을 제시하지 않을 수 없었다. 그것은 갈릴레이의 관성계와 완전히 구분되는데, 갈릴레이의 관성계가 함께 운동하는 물질들의 집합이라면 아인슈타인은 여기다가 전자기파, 시간, 공간을 포함시킨 것이다(Einstein, 1952). 즉, 아인슈타인의 특수 상대성원리는 갈릴레이가 상대운동을 겉보기운동으로 파악한 것과는 차원을 달리 하는 것으로, 상대공간에서 상대운동을 하는 관성계는 하나의 독립적인 우주라고 할 수 있다.

상대성이론의 방정식에 대한 아인슈타인 및 상대론자들의 잘못된 해석과 오류가 궁극적으로 여기에서 비롯된다고 생각된다. 관성계(혹은 좌표계)는 질량을 가진 물질로 구성되며 빛이나 중력과 같은 에너지파나 공간을 포함하지 않는다. 따라서 상대성원리도 물질에만 적용될 수 있다.<sup>12)</sup> 갈릴레이

12) 이 연구는 궁극적으로 물질 관성계에 적용되는 갈릴레이식 제한된 상대성원리도 절대공간론과 결합된 상대성이론이 도입되면 더 이상 타당하지 않게 된다고 본다. 왜냐하면 갈릴레이의 상대성원리는 운동하는 관성계(물질 관성계) 간의 상대성 혹은 동등성을 전제로 하지만, (절대공간론과 결합된) 상대성이론에 의하면 시간지연, 길이수축, 질량증가가 특정 관성계에서 실제로 발

-뉴턴이 생각했던 관성계가 관성운동을 하는 물질들의 집합이라면 본 연구도 거의 유사한 관점에서 있다. 다만 본 연구는 시간을 물질의 자체 진동과정으로 파악하기 때문에 시간은 만물에 대해 동등하지 않고 물질의 운동이나 중력으로부터 영향을 받는다고 본다.

만약 관성계가 물질로만 구성되고 공간, 전자기파, 중력파 등을 포함하지 않는다면 아인슈타인의 특수 상대성원리라는 가정은 근본적으로 오류가 아닐 수 없다. 그리고 그로부터 연역된 4차원 시공간연속체라는 가설도 설득력을 상실할 것이다.

생하기 때문이다. 특정 관성계에서 이러한 현상이 실제로 일어나고 반대편 관성계에서 그것이 발생하지 않는다면 두 관성계 간의 완전한 동등성은 구현되지 않는다.

## 참고문헌

- 김용운·김용국, 1975, 공간의 역사- 유클레이데스에서 토폴로지까지, 서울: 전파과학사.
- 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.
- 윤복원, 2014.2.24., <http://scienceon.hani.co.kr/150916>
- 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
- 장희익, 2002, “시간”, 우리사상연구소 엮음, 우리말 사전2, 서울: 지식산업사.
- 장희익, 2003, “공간”, 우리사상연구소 엮음, 우리말 사전3, 서울: 지식산업사.
- 김제완 외, 2005, 상대성이론, 그 후 100년 : 빛의 속도로 20세기 문화를 관통하다, 서울: 궁리출판.
- 차동우, 2003, 상대성이론, 서울: 북스힐.
- Beiser A, Cheah KW, 2014, Concepts of Modern Physics, McGraw-Hill Higher Education(= 장준성 역, 2015, 현대물리학 6판, 서울: 한국맥그로힐).
- Bodanis B, 2001,  $E=mc^2$  : A Biography of the World's Most Famous Equation, Berkley Publishing Group. (= 김희봉 역, 2014,  $E=mc^2$  세상에서 가장 유명한 방정식의 일생, 서울: 웅진지식하우스).
- Carroll SM, 2010, From Eternity to Here : The Quest for the Ultimate Theory of Time, Tantor Media Inc(= 김영태 역, 2012, 현대물리학, 시간과 우주의 비밀에 답하다. 서울: 다른세상.)
- Carroll SM. 2003, Spacetime and geometry: an introduction to general relativity, Addison-Wesley.
- Einstein A, 1920, Relativity: The Special and the General Theory, Barnes & Noble(= 이주명 역, 2012, 상대성의 특수이론과 일반이론, 서울: 필맥).
- Einstein A, 1952, Relativity and problem of Space(= 이주명 역, 2012, 상대성의 특수이론과 일반이론, 서울: 필맥).
- French AE, 1968, Special Relativity, New York: Norton.
- Greene B, 2004, The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality, Vintage Books. (= 박병철 역, 2005, 우주의 구조: 공간과 시간, 그 근원을 찾아서, 서울: 승산).
- Jammer M, 1994, Concept of Space: The Histry of Theory of Space in Physics, Dover Publications(= 이경직 역, 2008, 공간 개념 - 물리학에 나타난 공간론의 역사, 나남).
- Randall L, 2006, Warped Passages: Unraveling the Mysteries of the Universe's Hidden

- Dimensions, Penguin Group(= 김연중, 이민재 공역, 2008, 숨겨진 우주 : 비틀린 5차원 시공간과 여분 차원의 비밀을 찾아서, 서울: 사이언스북스).
- Reidenbach H, 1957, The Philosophy of Space and Time, New York: Dover Publications.(= 이정우 역, 1986, 시간과 공간의 철학, 서울: 서광사).
- 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.