

초고속 하이퍼튜브 차량 주행 간격 조절 시뮬레이션-애니메이션

(Animated Simulation of regulating intervals between superspeed vehicles in Hyperloop tubeway)

옥민환*, 이장영**

(Min-Hwan Ok, Chang-Young Lee)

요약

하이퍼튜브(하이퍼루프, Hyperloop)에서는 시속 1,000km대의 초고속 주행을 하므로 앞서가는 차량들과의 안전거리 유지가 최우선으로 중요하다. 주행 차량들의 가속 또는 감속 과정에서 예정된 속도변화와 차이가 나는 가속 또는 감속이 발생되게 하는 주요한 인자가 차간 안전거리 유지에 어떤 영향이 있는지 시뮬레이션한다. 차량간 간격이 변하는 상황을 실시간으로 시뮬레이션하며 동시에 애니메이션으로 표현하여 여러 주행 차량들에 대한 동시 상황과약을 할 수 있는 시뮬레이션 시스템을 구현하였다. 모든 주행 차량들의 현 주행상태를 전체 주행구간 중 어느 시점에서든 실시간 관찰할 수 있으며 차간 안전거리를 유지하지 못하게 되는 진행과정을 조사할 수 있다. 주행 차량들의 속도 변화와 차간 거리 등의 주요 상태치들이, 개발 중에 있는 실제모델 캡슐차량의 주행제어 상에서 개선되어야 할 점들을 보여주고 있다.

■ 중심어 : 하이퍼루프 ; 실시간 시뮬레이션 ; 주행 간격 조절 ; 속도 보정

Abstract

In the HyperTube (or Hyperloop) maintaining a safe distance between vehicles is crucial because it travels at ultra-high speeds of around 1,000 km/h. The simulation system, we have implemented, analyzes the impact of a key parameter causing deviations from the planned acceleration or deceleration on maintaining safe inter-vehicle distances. It simulates and animates how the interval changes between vehicles in real-time, allowing for simultaneous monitoring of multiple vehicles. This system provides real-time observation of vehicle statuses and helps identify points to be improved in the driving control of the physical capsule vehicle model under development, by showing speed changes and inter-vehicle distances.

■ keywords : Hyperloop ; realtime simulation ; interval regulation ; velocity assimilation

I. 서론

대표적인 육상 대중교통 수단인 철도처럼 하이퍼튜브는 각 역에서의 도착과 출발 시각이 정해져 있다. 출발과 도착 사이의 시간 동안 다음 역까지 지정된 시간에 도착하게 되어 있다. 하이퍼튜브 차량은 컴퓨터가 주행제어하므로 인간이 운전하는 열차와 다른 방식으로 주행속도 변화를 제어한다[1]. 출발 시각과 도착 시각은 미리

만들어진 운행계획에서 나온다. 운행계획은 하이퍼튜브 각 차량의 주행속도 계획을 기반으로 만들어지며 주행속도 계획이 하이퍼튜브 차량들의 출발시각 간격을 결정짓는다.

도로 차량들과 철도 차량들 모두 일정한 안전거리를 유지하도록 강제된다. 철도 차량은 각 차량의 속도 조절로 차량간 간격을 유지한다[2-4]. 안전거리는 근본적으로 차량의 감속 성능에 의해 결정되는 것으로 주행 중인 차량들에게 공통적인 안전거리를 유지하도록 규정한다. 어떤 차

* 정회원, 한국철도기술연구원 하이퍼튜브연구실

** 정회원, 한국철도기술연구원 하이퍼튜브연구실

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업(하이퍼튜브 실용화를 위한 핵심장치 및 캡슐운영 기술 개발, PK2501A1)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

접수일자 : 2025년 10월 30일

수정일자 : 2025년 11월 30일

게재확정일 : 2025년 12월 11일

교신저자 : 옥민환 e-mail : mhok@krii.re.kr

량이 감속하는데 필요한 거리가 길어 선행 차량을 추돌하지 않도록 안전이 보장될 길이로 안전거리가 결정된다. 안전거리가 길어질수록 주행 중인 차량의 대수는 반비례로 줄어들게 되어 차량들의 출발시각 간격이 늘어난다. 승객들의 차량도착 대기가 오래 걸리게 된다.

도로와 일반철도와는 달리, 하이퍼튜브에서는 단일 차량모델이 주행하는 것을 전제로 한다. 차량모델의 핵심인 주행장치가 동일한 성능을 가지는 것인데 이 공통점으로 차량간 안전거리 유지에 유리한 특성을 가지게 된다. 가속과 감속 시 주행성능에서 차이가 나면 차량간 안전거리를 차량 모델별로 다른 주행성능으로 인해 더운 긴 거리를 띄워 충분한 안전거리를 확보하게 된다. 단일 차량모델에서는 가속과 감속 및 등속에서 동일한 주행 성능을 전제할 수 있으므로 주행 속도 계획에서 차량마다 같은 주행속도 계획을 적용할 수 있다. 같은 주행속도 변화를 이행할 수 있으면, 주행하는 차량들 사이의 안전거리를 불특정하게 늘어나지 않게 할 수 있어 보다 많은 수의 차량들이 튜브 내를 주행할 수 있게 한다. 각 차량에서 주행 성능에 영향을 미치게 되는 조건들 중 대표적인 하나가 차량의 하중 변화로, 탑승 승객 수에 의해 차량마다 차이가 생기게 된다. 이전 연구[1]에서도 보인 것처럼 가속과 감속 시에 이동한 거리에 차이가 생기게 되어 안전거리 유지에 직결된 관계가 있다. 본 연구는 보편적인 공학 시뮬레이션과는 다르게 시간의 흐름을 따라 시뮬레이션되는 상황을 특정 인자와 관련하여, 대표적으로 주행속도 변화를 일정 시간 관찰할 수 있도록 실시간으로 시뮬레이션하는 시스템에서의 주행속도 변화 방법에 대한 구현을 주대상으로 한다. 시간에 따른 시뮬레이션 상황을 보기 위해 시뮬레이션을 애니메이션으로 표현하여 시뮬레이션에서의 상태 변화를 수치 및 그래프로 실시간적으로 볼 수 있는 시뮬레이션 시스템을 만들었다.

II. 차량 주행제어 시뮬레이션

1. 캡슐차량의 추진 및 제동

차량을 가속 또는 감속시키려면 추진력으로 가속 또는 제동력으로 감속시킨다. 현재 하이퍼튜브 차량은 자기력 추진 및 제동을 하며 차량에 주어지는 힘의 공식이 (1)이다(그림 1).

$$\text{Resultant F.} = \text{Magnetic P.} + (\text{M.D.} + \text{A.D.}) \quad (1)$$

- A.D. (Air Drag force, 공기저항력) : Proportionally increases by speed
- M.D. (Magnetic Drag force, 자기저항력) : Increases radically, and decreases
- Magnetic P. (Magnetic Propulsion force) : Required for destined Resultant F.

공기저항(air drag)과 자기저항(magnetic drag)보다 큰 자기추진력(magnetic propulsion force)이 있을 때 차량은 가속된다.

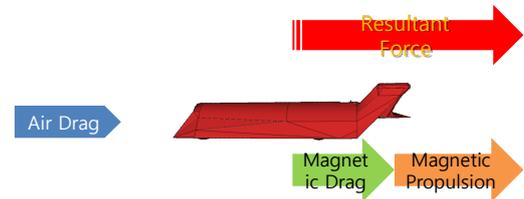


그림 1. 합력(resultant force) 생성 관계

주행 중 Mass (in kg)는 변동이 없으므로 결정되는 합력(Resultant F.), 즉 Force는,

$$\text{Magnetic P.} - (\text{M.D.} + \text{A.D.}) > 0 \quad (2)$$

$$\text{Magnetic P.} - (\text{M.D.} + \text{A.D.}) < 0 \quad (3)$$

$$\text{Magnetic P.} - (\text{M.D.} + \text{A.D.}) = 0 \quad (4)$$

세 가지 경우에서 Force = Mass × Acceleration, 그래서 Acceleration = Resultant F. ÷ Mass이므로, 구해진 Acceleration으로 Capsule Velocity += Acceleration; 이라는 실행문에 가변적인 Acceleration을 지속적으로 대입한다.

자기추진력(Magnetic Propulsion force) 그리고 자기저항력(Magnetic Drag force) 및 공기저항력(Air Drag force)에 대한 물리적 해석은 본 논문의 대상 범위에서 벗어나므로 그 수식들을 다루지는 않으나, 그 수식들의 계산치에 대한 추정을 돕기 위해 시물레이션에 적용된 수식들의 간략한 원리들을 설명한다.

첫 번째 부등식 (2)는 추진력이 저항력보다 커서 차량을 전방으로 밀어 가속하는 결과가 되며 두 번째 부등식 (3)은 추진력이 저항력보다 작아서 차량을 후방으로 당겨 감속하는 결과가 된다. 세 번째 등식 (4)는 차량의 속도 변화가 생기지 않는 결과가 된다.

$Acceleration = Resultant F. \div Mass$ 로서, 가속도는 하중에 반비례한다. 하중이 클수록 가속도를 얻기 위해서 요구되는 합력(resultant force)이 커진다.

그러므로 하중의 변화 주요인인 차량 탑승자 수의 차이가 가속도의 차이로 나타나, 차량들의 속도가 탑승자의 수에 따라 달라지게 된다. 차량의 하중에 따라 속도 차이가 생겨 차량 사이 간격이 바라는 거리로 유지되지 않는 상태가 되지 않도록 하는 방법의 시물레이션을 애니메이션으로 실시간 처리하는 시물레이션 시스템 개발 내용을 보인다.

2. 클라이언트-서버 시스템 구조

캡슐차량과 통제센터가 유-무선 통신으로 연결되므로 통신지연을 포함하기 위해 시물레이션은 두 대 이상의 컴퓨터로 수행하는 구조다(그림 2). 연속적으로 이어진 튜브라는 개체가 길이가 매우 길어지므로 일정 구간마다 통제센터를 대신하여 역할하는 준통제센터가 있다. 준통제센터는 정해진 일정 구간을 관장하며, 캡슐차량들이 정상주행하고 있는 상황에서는 통제센터가 개입하지 않는다.

시물레이션에서 적용된 데이터 통신은 유선 네트워크인 기가비트 이더넷 랜이며 향후 무선링크를 추가하며 통신지연을 늘려 시물레이션할

수 있도록 고안된 구조다.

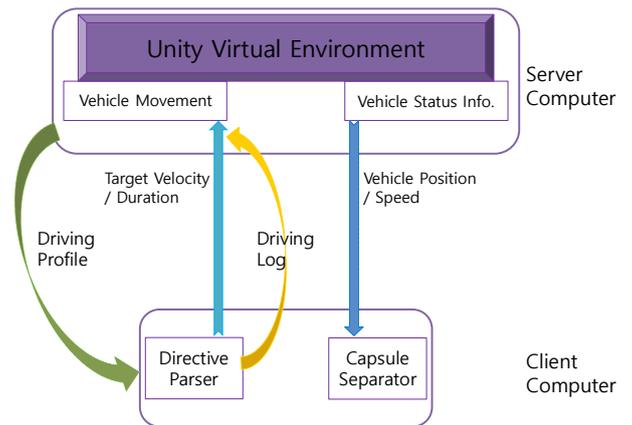


그림 2. 클라이언트-서버 구조로 시물레이션 수행

준통제센터를 네트워크 상의 클라이언트로 작동시키며 차량의 정상주행 상태에서의 지시기능과 차량의 비정상주행 상태에서의 긴급자동 대응지시기능을 부여한다. 클라이언트 개수를 늘려서 그만큼의 튜브의 구간을 늘릴 수 있게 고안된 구조이며, 아울러 차량 대수에 따른 통신량의 증대도 부가되도록 설계된 것이다. 구간 개수가 늘수록 주행하고 있는 차량 대수는 비례적으로 늘어난다. 본 연구에서 사용된 클라이언트는 네 대이다.

그림 3에 보이고 있는 캡슐차량 주행상태가 실시간으로 변하는데 차량 주행과 차량 주요상태가 시물레이션 되며 애니메이션으로 나타난다. 합력(Resultant force)은 클라이언트 컴퓨터에서 계산되어 서버 컴퓨터로 전달된다. 서버 컴퓨터의 Vehicle Movement는 가속도(Acceleration) 계산부터 담당한다. 합력(수식 (1)) 계산에 연산 부하가 있다.

차량의 움직임을 3차원 애니메이션으로 표현하는데에 유니티(Unity)[5]가 사용되었다. 서버에서 유니티를 이용하여 각 캡슐차량들의 주행상태를 애니메이션으로 보여주는 구조로 차량의 주행에 관련된 계산치들과 각 차량의 주행상태 정보를 집계한다. 분산된 구조로 시물레이션을 수행하는 시스템은 Unity를 사용하는 다른 연구들에서도 찾아볼 수 있다[6].



그림 3. 차량 주행제어 시뮬레이션

Ⅲ. 가상공간 차량 주행제어

1. 캡슐차량 주행속도 계획

가속 성능, 감속 성능이 동일한 단일 모델의 차량들이 튜브 내를 주행하므로 가속과 등속, 그리고 감속에 있어 동일한 주행속도 계획으로 주행이 가능하다. 단일 모델의 차량들 사이의 차이는 탑승자 수이므로 탑승자 수에 의한 차량 하중 변화가 주행이 계획대로 되지 않는 대표적 이유다. 차량 간의 안전거리가 계획대로 지켜지지 않을 수 있는 경우를 보이기 위해 감속 구간의 속도 변화를 그림으로 나타내었다. 일정 지점을 지나가는 시점에서의 평균 감속도 지시가 표시되는데, 주행 속도 변화는 꺾은 선 형태로 발생하지 않으며 속도 변화로 차량 내에서 느껴지는 감속도를 최소화하기 위해 부드러운 곡선으로 변화시킨다. 0.46G의 평균 감속도와 0.77G의 평균 감속도 각각에 대해 근소한 차이를 보이는 속도 그래프가 두 개씩 생성되어 있다. 두 개씩의 속도 그래프에 관해서는 다음 절에서 설명된다.

0.46G의 평균 감속도와 0.77G의 평균 감속도 각각의 계획대로 감속이 일어나도록 합력이 생성되게 하는 제어 기술이 우선되지만 하중 변화 등으로 계획된 속도 변화와 차이가 큰 속도 변화가 일어나면 그 차이만큼 차간 안전거리를 늘려야 하므로 차이를 최소화할 수 있는 기법도 못지않게 중요한 역할을 하게 된다.

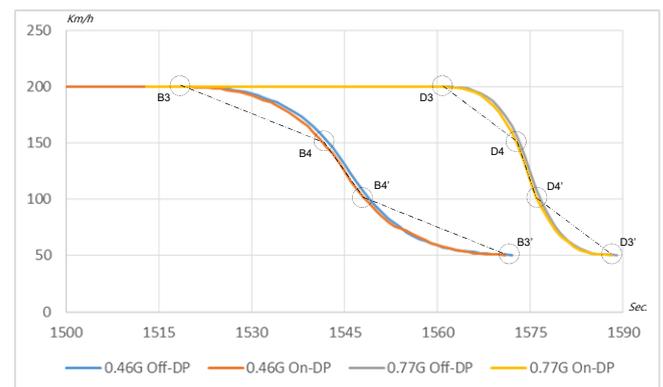


그림 4. 주행속도 계획과 그에 따른 차량의 속도 변화

그림은 차량에 정원의 절반이 탑승한 상태의 속도 변화가 계획대로 감속되는 결과를 보인다. 그림의 주행속도 계획에는 감속도 0.46G에서 기울기 B3→B4, 기울기 B4→B4', 기울기 B4'→B3'

이 나타나며 평균 감속도를 의미한다. 감속도 0.77G에서 기울기 D3→D4, 기울기 D4→D4', 기울기 D4'→D3'이 나타나며 역시 평균 감속도를 의미한다. 정원의 절반이 탑승한 상태를 감속하는 차량의 속도 변화의 기준으로 하며 탑승자 수가 다른 상태에서도 그림과 같은 속도 변화가 될 수 있도록 감속 보정이 일어나게 하는 기법을 적용한다.

2. 캡슐차량 속도 보정 기법

감속 계획대로 감속되는 속도 변화 함수가 있다고 하고 $p(t)$ 라 하자. t 는 시간이다. 차량의 현재 속도 $v(t)$ 와 $p(t)$ 의 차이가 발생하면 그 속도 차이 $i(t)$ 는,

$$i(t) = v(t) - p(t) \tag{5}$$

$$\Delta t = t - t_b \tag{6}$$

으로, t_b 는 차이가 발생하기 시작하는 시점이다.

Δt 동안 차량 속도가 $v(t_b)$ 에서 $v(t) = p(t)$ 로 되기 위해선 추가적 제동력이 필요하다. 추가적 제동력은 $F = ma$ 에서,

$$a_{\Delta t} = \frac{v(t_b) - p(t)}{\Delta t} \tag{7}$$

이며, $a_{\Delta t}$ 는 Δt 동안 추가로 작용할 평균 가속도이다. 따라서 Δt 동안 필요한 추가적 제동력 ${}^+_{\Delta t}F$ 는,

$$\begin{aligned} {}^+_{\Delta t}F &= ma_{\Delta t} \times \Delta t = m \frac{v(t_b) - p(t)}{\Delta t} \times \Delta t \\ &= m(v(t_b) - p(t)) \end{aligned} \tag{8}$$

Δt 를 가능한 작게, 실시간으로 ${}^+_{\Delta t}F$ 를 조절할 수 있는 것이 추진 및 제동에서의 기술 수준이며 상세한 기술은 논문에서의 범위를 벗어나므로 생략한다. 차량마다 하중의 차이가 있는 하이퍼루프 차량들이 차간 안전거리 위배 상태에 대한 고려 없이, 일정 조건의 차량들이 운행되는 각 경우에 대한 평균적, 즉 대체적인 분석은 있으나

[7, 8], 본 연구는 차량마다 하중의 차이가 있는 차량들이 열을 지어 주행할 때 안전거리를 위배하지 않도록 제어하는 제안 방법을 실시간으로, 가변적인 상황에 대응하는 방식으로 시뮬레이션 한다는 차이점을 가진다.

정원의 1/4이 탑승한 차량을 0.46g의 평균 감속도로 제동하여 속도를 변화시켰을 때 $v(t) - p(t)$ 를 그림 5에 보였다. 지시된 속도로 감속되기는 하지만 감속되는 중에 차이가 생긴 속도로 주행하는 동안 이동한 거리는 예상과 달라지게 된다. 가로축은 시간(초)이다.

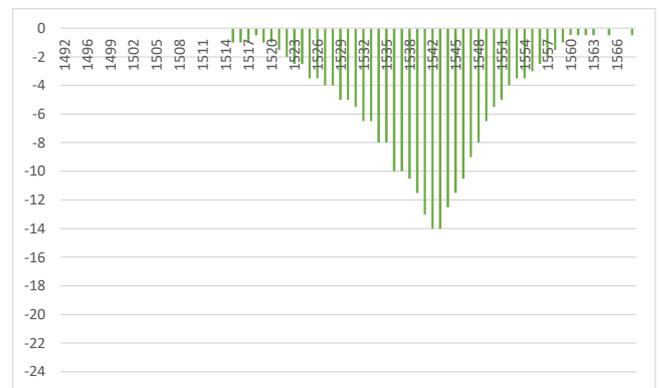


그림 5. 평균 감속도 0.46g에서 속도 계획과 속도 차이

그림 6에서 0.46G Motion이라는 그래프가 예상 속도변화 그래프로, 0.46G Off-DP가 그림 5의 결과인 속도변화이다. 0.46G On-DP가 그림 5의 속도 차이를 보정하여 0.46G Motion과 가까워지도록 한 속도변화이다.

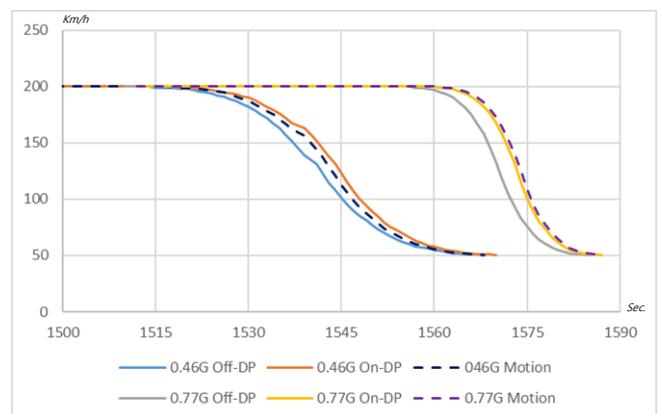


그림 6. 정원의 1/4 탑승한 차량 속도 변화와 속도 보정

그림 6의 0.77G Motion이라는 그래프는 정원의 1/4이 탑승한 차량을 0.77g의 평균 감속도로 제동하여 속도를 변화시켰을 때의 예상 속도변화 그래프로, 0.77G Off-DP가 그림 7의 결과인 속도변화이다. 0.77G On-DP가 그림 7의 속도 차이를 보정하여 0.77G Motion과 가까워지도록 한 속도변화이다.

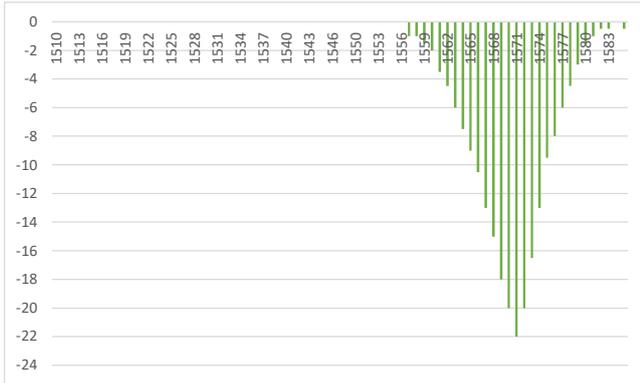


그림 7. 평균 감속도 0.77g에서 속도 계획과 속도 차이

정원의 4/4가 탑승한 차량을 0.46g의 평균 감속도로 제동하여 속도를 변화시켰을 때 $v(t) - p(t)$ 를 그림 8에 보였다. 지시된 속도로 감속되기는 하지만 감속되는 중에 차이가 생긴 속도로 주행하는 동안 이동한 거리는 예상과 달라지게 된다. 가로축은 시간(초)이다.

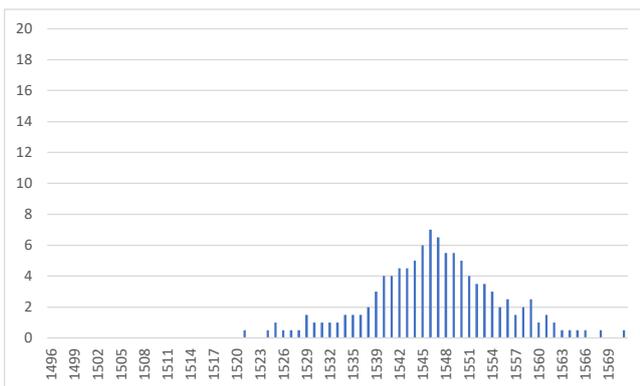


그림 8. 평균 감속도 0.46g에서 속도 계획과 속도 차이

그림 9에서 0.46G Motion이라는 그래프가 예상 속도변화 그래프로, 0.46G Off-DP가 그림 8의 결과인 속도변화이다. 0.46G On-DP가 그림 8의 속도 차이를 보정하여 0.46G Motion과 가까

워지도록 한 속도변화이다.

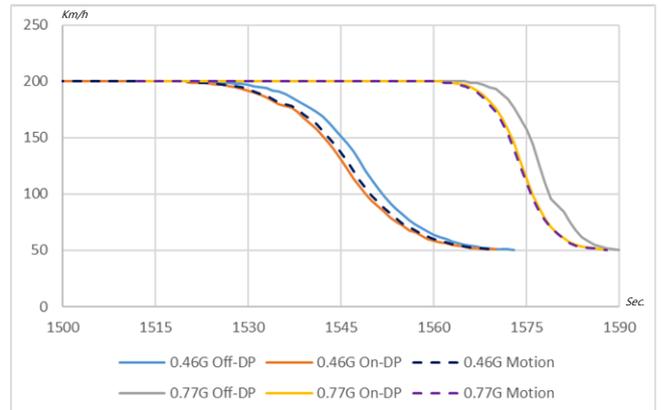


그림 9. 정원의 4/4 탑승한 차량 속도 변화와 속도 보정

그림 9의 0.77G Motion이라는 그래프는 정원의 4/4가 탑승한 차량을 0.77g의 평균 감속도로 제동하여 속도를 변화시켰을 때의 예상 속도변화 그래프로, 0.77G Off-DP가 그림 10의 결과인 속도변화이다. 0.77G On-DP가 그림 10의 속도 차이를 보정하여 0.77G Motion과 가까워지도록 한 속도변화이다.

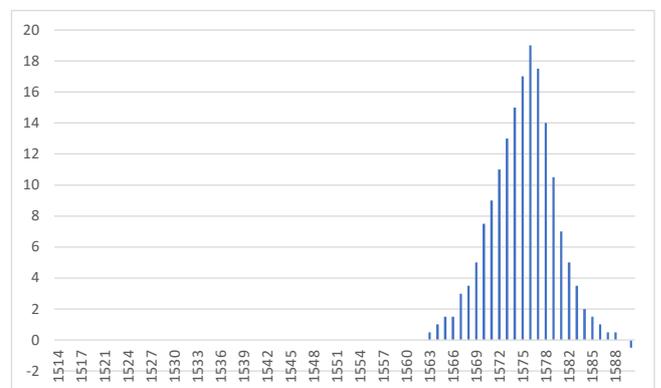


그림 10. 평균 감속도 0.77g에서 속도 계획과 속도 차이

캡슐 차량 감속시 발생하는 속도에서의 차이를 주행속도 계획에 가깝게 맞추어 갈 수 있으면, 안전거리의 여유폭을 줄여 요구되는 차간 거리를 보다 짧게 할 수 있어 안전하게 주행 차량 수를 늘릴 수 있다.

IV. 시뮬레이션-애니메이션



그림 11. 차량 주행제어 시뮬레이션

시뮬레이션 시스템은 서버 컴퓨터 한 대와 클라이언트 컴퓨터 네 대가 독립된 유선 네트워크로 연결되어 있고 클라이언트 컴퓨터 네 대에서 대당 6대의 차량 주행을 시뮬레이션하고 서버 컴퓨터에서 이 차량들이 시뮬레이션되는 상황을 그림 11의 애니메이션으로 실시간으로 보여준다.

속도 보정 기법에 의해, 차량들이 20명 정원에 1명부터 20명까지 무작위한 탑승 인원수로 주행하고 있다. 일정 속도대까지는 주행속도 계획과 속도 오차를 거의 없애서 예상한 범위의 차간 거리 변동으로 그림 12처럼 주행속도 계획에 가까운 속도 변화에 의해 이동 거리가 예상 수준으로 나오고 있다. 그렇지만 일정 속도대 이상에서는 주행속도 계획과 속도 오차가 어느 정도 있어서 추가적 연구가 요구된다.



그림 12. 주행속도 계획에 가깝게 감속되며 이동한 거리

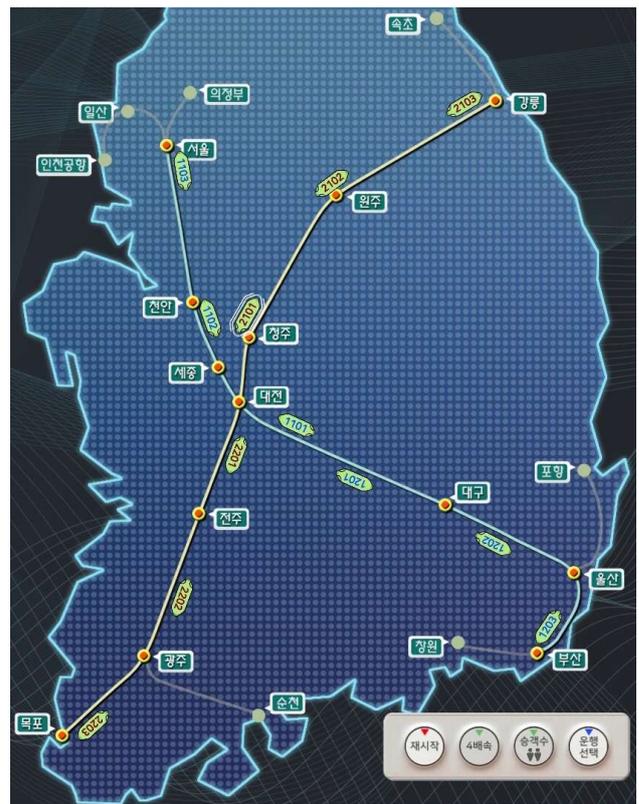


그림 13. 상하행선 동일하게 6대씩 차량 운행 시뮬레이션

운행 상황이 그림 13에 보여지고 있으며 한국 지도의 두 개의 노선에 상행선, 하행선이 있어서

각 노선의 상행선에 클라이언트 한 대, 하행선에 클라이언트 한 대로 총 네 대의 클라이언트 컴퓨터가 사용되었다.

V. 결 론

감속도를 크게 하면 짧은 시간에 속도가 낮아 지니 감속에 필요한 거리도 줄일 수 있으나 감속도에 비례하여 승차감이 떨어지는 경향이 있다. 따라서 감속도를 크게 하는 것보다 지정된 감속도대로 속도 변화가 일어나게 하는 것이 차간 안전거리를 짧게 하는데에 더욱 중요하다.

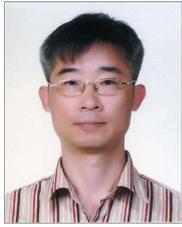
본 연구에서는 두 가지 감속도를 대상으로 분석하며 두 감속도에서 속도 변화가 지정된 감속도대로 일어나도록 하는 기법의 효과를 시뮬레이션으로 보였다. 하이퍼튜브 시스템이 다학제적(multidisciplinary) 구성이어서 세부적인 기술은 논문의 범위를 벗어나기에 생략되었지만 공통적 과학지식으로 이해될 수 있는 전체적인 작동원리로 설명하였다.

두 개 노선의 상하행선에서 동시에 24대의 캡슐차량을 운행시키는 실시간 시뮬레이션을 애니메이션하여 주행 중인 차량들의 주요 상태와 객실 상태, 그리고 전체 운행상황을 다 알아볼 수 있는 시뮬레이션-애니메이션으로 하이퍼루프 기술개발에서는 전체 시스템이라는 분류에서 유일하다. 주행속도 계획을 시속 1,000km대의 초고속에서 맞추어내지 못하고 있어 추가적인 연구가 있어야 하지만 주행속도 변화 방법에 있어서 바탕이 되는 기법이다. 차량간 안전거리 유지로 차량들 출발시각 간격이 늘어나지 않게 하여 동시 운행 차량대수가 줄어들지 않게 하는 중요 기술이 된다. 시속 1,000km대에서 주행속도 계획을 맞추어 내는 것이 주요한 다음 계획이며 제안된 기법이 한계를 보이는 원인에 대한 추가적인 관찰이 될 수 있도록 개발을 이어갈 것이다. 통제센터와 준통제센터 시스템들이 장애 등의 문제로 원활한 작동이 안되는 상황도 모사할 수 있는 향후 계획을 하고 있다.

REFERENCES

- [1] 옥민환, 이창영, “시속 1,200km 주행하는 하이퍼튜브 차량의 애니메이션화 시뮬레이션 시스템 구현,” *스마트미디어저널*, vol. 13, no. 12, pp. 35-44, 2024.
- [2] 윤용기, 오세찬, 최준영, 박재영, 양해원, “무선통신 기반 열차제어시스템 ATP 열차간격제어알고리즘 시뮬레이터 개발,” *한국철도학회논문집*, 제15권, 제1호, 29-36쪽, 2012년 2월
- [3] 오세찬, 김경희, 김민수, “무선통신기반 열차간격제어를 위한 전처리 기반 속도프로파일 계산 알고리즘,” *한국산학기술학회논문지*, 제16권, 제9호, 6274-6281쪽, 2015년 9월
- [4] 오세찬, 김경희, 이성훈, 김자연, 전종화, “무선통신 기반 열차제어시스템에서의 운전시각 계산과 간격제어 성능개선을 위한 열차간격제어 알고리즘,” *한국산학기술학회논문지*, 제16권, 제10호, 6949-6958쪽, 2015년 10월
- [5] Unity Manual (2023.2). <https://docs.unity3d.com/2023.2/Documentation/Manual/index.html> (accessed Dec., 1, 2025).
- [6] H. Prendinger, R. Jain, T. Imbert, J. Oliveira, R. Li, M. Madruga, “Evaluation of 2D and 3D interest management techniques in the distributed virtual environment DiVE,” *Virtual Real.*, vol. 22, pp. 263 - 280, 2018.
- [7] P. Kirschen, E. Burnell, “Hyperloop System Optimization,” *Optim. Eng.* vol. 24, pp. 939 - 971, 2023.
- [8] D. Tudor, M. Paolone, “Optimal Design of the Propulsion System of a Hyperloop Capsule,” *IEEE Trans. Transp. Electrif.* vol. 5, iss. 4, pp. 1406-1418, 2019.

저 자 소 개



목민환(정회원)

1999년 부산대학교 전자계산학과 석사 졸업.

2009년 고려대학교 컴퓨터학과 박사 수료.

2001년~2004년 창신대학교 조교수

2004년~한국철도기술연구원 책임연구원.

<주관심분야 : 자율주행, 스마트카, 하이퍼루프>



이창영(정회원)

1995년 부산대학교 대학원 전기공학과 석사 졸업.

2012년 연세대학교 대학원 전기공학 박사 졸업.

2006년~한국철도기술연구원 책임연구원.

<주관심분야 : 철도응용 초전도 기술>