JKSCI

한국컴퓨터정보학회논문지
Journal of The Korea Society of Computer and Information
Vol. 27 No. 1, pp. 141-148, January 2022
https://doi.org/10.9708/jksci.2022.27.01.141

# Development of Optimal Bus Dispatch Simulation for Greenhouse Gas Reduction

Sang Won Jung*, Kyu-Cheol Cho*

*Student, Dept. of Computer Science, Inha Technical College, Incheon, Korea
*Professor, Dept. of Computer Science, Inha Technical College, Incheon, Korea

## [Abstract]

Global climate change caused by greenhouse gases(GHG) is getting serious. To prevent this, countries around the world are regulating GHG emissions. Korea has decided to reduce GHG emissions by 37% compared to BAU (Business As Usual) by 2030. The transportation sector accounted for 18.58% of the domestic GHG emission, and roads accounted for 93.75% of the total. Public transportation is also included in the target of GHG reduction, and this study was conducted to reduce GHG emissions of bus public transportation, which can reduce GHG emissions while reducing the cost of road transportation. In this study, a simulation was conducted to predict the optimal GHG emission compared to the waiting time of passengers by adjusting the bus dispatch interval by implementing a greenhouse gas simulation model using Any Logic. If a more precise model is implemented in the future, it is expected that it will be used to reduce bus GHG emissions.

▸ **Key words**: greenhouse gases(GHG), Business As Usual(BAU), simulation, Any Logic

## [요 약]

온실가스로 인한 세계 기후 변화가 심각해지고 있다. 이를 방지하기 위해 세계 각국에서는 온실가스 배출 규제를 하고 있다. 국내는 온실가스 배출량을 2030년까지 BAU(Business As Usual) 대비 37% 감축하기로 하였다. 국내 온실가스 배출 비중 중 교통부문이 18.58%에 해당하는 데 그중 도로가 93.75%에 해당하는 대부분의 수치를 기록했다. 대중교통 또한 온실가스 감축 대상에 포함되는데 본 연구는 도로 교통 중 비용이 상대적으로 적게 들면서 온실가스 감량을 할 수 있는 버스 대중교통의 온실가스 감축을 위해 진행했다. 본 연구는 애니 로직을 활용하여 온실가스 시뮬레이션 모델을 구현해 버스의 배차 간격을 조정하여 승객의 대기시간 대비 최적의 온실가스 배출량을 예측하는 시뮬레이션을 진행했다. 향후 더욱 정밀한 모델을 구현한다면 버스 온실가스 감축에 활용될 것으로 기대한다.

▸ **주제어**: 온실가스(GHG), BAU, 시뮬레이션, 애니 로직

• First Author: Sang Won Jung, Corresponding Author: Kyu-Cheol Cho
*Sang Won Jung (ekdldh0804@gmail.com), Dept. of Computer Science, Inha Technical College
*Kyu-Cheol Cho (kccho@inhatc.ac.kr), Dept. of Computer Science, Inha Technical College
• Received: 2021. 12. 10, Revised: 2022. 01. 14, Accepted: 2022. 01. 14.

Copyright © 2022 The Korea Society of Computer and Information
http://www.ksci.re.kr pISSN:1598-849X | eISSN:2383-9945

# I. Introduction

산업화 이전 대비 지구 온도의 1.5℃ 상승은 국제사회가 지구 온난화의 마지노선으로 설정한 목표치이다. 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)는 2021년 8월 9일 제6차 평가보고서 제1 실무그룹 보고서 요약본을 공개했다. 보고서 요약본의 핵심은 21세기 중반까지 현 수준의 온실가스 배출량을 유지하면 2021~2040년 중 지구 기온 상승폭이 산업화 이전((1850~1900년) 수준 대비 1.5℃를 넘어설 가능성이 높다는 것이다[1].

지구 온난화를 방지하기 위해선 현재의 온실가스 배출량을 절반 가까이 줄여야 한다. 국내에서도 2030년까지 BAU (Business As Usual) 대비 온실가스 배출량을 37% 감축하기로 발표하였다. 버스 또한 2023년부터 온실가스 감축 대상에 포함되는데 환경부 지침에 따라 총중량 3.5t 이상 중·대형 상용차 제작사는 2023년 온실가스 배출량을 2021~2022년 기준치보다 2.0% 감축해야 한다. 감축비율은 2024년 4.5%, 2025년 7.5%로 높아진다. 중·대형 상용차는 2020년 기준으로 약 85만대로 전체 차량의 3.5% 수준이지만, 수송 부문 온실가스 배출량에서 차지하는 비중은 22.5%에 달해 적극적인 감축이 필요한 상황이다[2]

버스 온실가스 배출 감소를 위해 현실 세계에서 버스배차 대수와 배차 간격을 임의로 변경할 시 승객 대기 비용 및 운행 비용이 발생한다. 현실 세계에서 위와 같은 비용과 편의성이 나타나는 문제 때문에 모의실험을 통해 결과를 예측해보는 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 시뮬레이션을 이용해 현재 실제로 사용 중인 노선 모델을 구현하여 현재 이용 중인 버스의 배차 대수와 배차 간격을 조절하여 AS-IS 대비 승객 대기시간과 온실가스 배출의 최적값을 구해내는 것이 목적이다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 연구와 관련된 연구에 관하여 기술하고 3장에서는 시뮬레이션을 위한 데이터 정의와 관련 기술을 정의한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 보이며 5장에서는 결론을 맺는다.

# II. Relation Works

## 2.1 Studies on Bus Dispatch Time

현실 세계에서 버스배차 대수 조절을 할 시 비용이 발생하여 최적 배차 대수 및 배차 간격 설정을 목표로 여러 연구가 이루어지고 있다.

교통카드 데이터를 이용한 버스 승객 대기시간 최소화 알고리즘을 제시[3]한 연구에서는 승객의 접근+대기+통행시간+버스 운행 비용을 통해 총 통행비용을 산정하였고 교통카드 데이터베이스를 이용하여 정류소별 차량의 도착시각을 승차가 발생한 정류소와 발생하지 않은 정류소로 구분해서 각각 결정하였다. 승객의 승차 분포를 도착 분포로 변환하고 이를 바탕으로 현재 노선의 승객 대기시간을 계산했다. 정류소별 차량의 도착시각을 변경시키면서 승객들의 대기시간이 최소화되는 배차 간격을 탐색하는 알고리즘을 반복 수행해서 최적 수렴 값을 도출해내는 연구를 진행했다.

승객의 대기시간을 최소화하는 방법에 관한 연구[4]에서는배차간격을 결정하여 이를 승객들의 누적 도착 분포를 이용하여 계산하였다. 승객들이 균일하게 도착하는 승객들의 평균 대기시간은 배차 간격의 1/2와 같다고 제시하였다.

이용자 만족도를 반영한 버스 최적 배차 간격 설정 모형을 제안한 연구[5]에서는 총 교통비용을 최소로 하는 최적 배차 간격을 찾는 모형에 이용자 만족도를 고려하여 총 교통비용을 최소화하는 모형을 개발하였다. 그러나 버스 이용자의 요구가 너무 많이 반영되어 배차간격이 좁아지면 버스운행 비용이 많이 증가하는 단점이 존재하며 이용자 만족도 조사 표본 수가 적어 이용자 만족도의 신뢰성이 낮은 문제가 있다.

최소 및 최대 배차간격을 고려하여 총 통행비용이 최소화되는 최적 배차간격을 산정하는 연구[6]에서는 일반적으로 수요가 낮은 오후 시간대는 배차간격을 길게 설정하고 수요가 높은 출퇴근 시간대는 배차간격을 짧게 설정하여 배차간격을 결정하였다.

## 2.2 Studies on Bus Greenhouse Gas Emissions

BMS 자료를 활용하여 버스 교통부문 온실가스 배출량을 산정하였다[7]. 2006년 IPCC Guideline 보고서에서 온실가스 배출량 산정을 위한 방법론 중 하나인 Tier 3을 적용하였다. Tier 3은 차종별 미시적 에너지 소비 형태를 반영하여 배출계수를 적용하고 있다. Tier 1, Tier 2 에 비해 상대적으로 많은 자료가 필요하지만, 정확도는 높아진다고 말할 수 있다. 버스(CNG)의 배출계수를 적용하여 i-1번 정류장에서 i번 정류장까지의 거리를 평균속도로 곱하여 온실가스를 측정했다. 특히 온실가스 배출은 차량이 교차로에서 대기하거나 승객 승하차 시간과 같은 공회전에도 발생하는데 Tier 3을 적용한 수식으로는 공회전 시 온실가스 배출값이 나오지 않기 때문에 승하차 시간에 대한 속도는 저속주행 기준 4.7km/시를 적용하였으며 Fig 1과 같다.

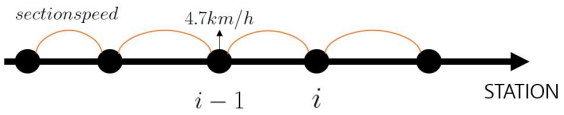


Fig. 1. Changes in bus speed by section

여기서 sectionspeed는 아래 식과 같다.

$$sectionspeed(S_i) = \frac{D_i - D_{i-1}}{T_i - T_{i-1}}$$

여기서,

$S_i$ : $i$ 번째 정류장까지의 구간 통행 속도

$D_i$ : $i$ 번째 정류장까지의 거리

$T_i$ : $i$ 번째 정류장까지의 도착 시간

본 연구는 애니 로직 시뮬레이션을 활용하여 2030년까지 현재의 온실가스 배출량을 37% 감축시키는 것을 목표로 승객의 대기시간을 고려하며 최적의 배차시간과 배차대수를 측정하는 시뮬레이션을 개발한다.

## III. Bus Dispatch Simulation Setting

### 3.1 Bus Simulation Definition

해당 연구를 진행하기 위해 본 시뮬레이션은 에이전트 기반 모델링(Agent-based Modeling, 이하 ABM)을 적용하였다. ABM은 에이전트의 개별적인 행동뿐만 아니라 서로 간의 상호작용, 그 상호작용으로 인해 파생되는 현상을 확인해봄에 있어서 효율적인 기법이다. 에이전트의 동작을 지정하는 방법은 여러 가지가 있으며 보통 Statechart로 잘 정의된다. Statechart가 이벤트를 만나 transaction을 통해 상태가 천이되며 action을 취하는 것으로 버스-승객 간의 유기적 상호작용을 나타내기에 적합한 모델링 기법이다. 본 논문은 Anylogic[8][9] 8.7.7 University Version을 이용하여 구현하였다. ABM을 활용한 본 시뮬레이션의 구조도는 Fig 2와 같다.

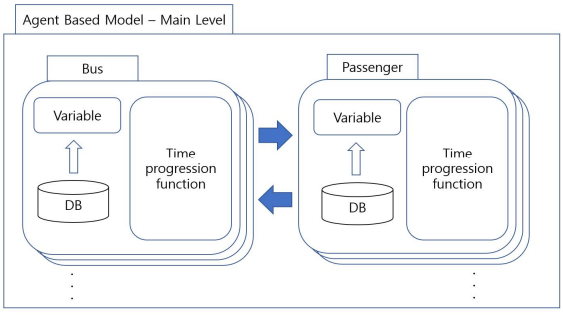


Fig. 2. Bus Simulation Structure diagram

Fig 2를 보면 ABM 모델 안에 Bus와 Passenger 에이전트가 있다. Bus의 에이전트 개수는 2번 버스의 배차 대수이며 Passenger의 에이전트 개수는 정류장 개수이다. 각각의 내부에는 DB에서 가져온 내부 변수와 시간진행 함수가 있다. 시간의 흐름에 따라 둘은 상호작용하며 버스의 정보는 공공데이터 포털에 있는 인천시 정류장 현황 GPS 값을 이용하였다[10]. 정류장 GPS를 토대로 정류장 위치에 승객이 생성되도록 하였으며, 승객의 승하차 정보는 교통카드 빅데이터 시스템을 이용하여 2021년 6월 14일부터 6월 21일까지 일주일간 96,936명의 2번 버스 승객 이용현황을 사용했다.

2번 버스는 인천광역시 시내버스 전체 노선 중 총합 승차량이 5위 안에 드는 인기 노선으로 승객수요의 다양성이 반영되어 버스배차 대수와 배차 간격을 조정하는데 효율적이라 판단하였다. 승객 승하차 정보는 데이터 전처리를 해주어 속성에는 시간, 정류장 번호, 승객탑승 수가 위치하도록 설정했다. 그 결과 21504개의 행이 만들어졌다.

Table 1. Passenger Arrive in Time ( 21504 columns )

| time | StopNo | Passenger |
|---|---|---|
| 2021-06-14 6:00 | 36018 | 6 |
| 2021-06-14 6:00 | 40410 | 6 |
| 2021-06-14 7:00 | 35191 | 14 |
| ... | ... | ... |
| 2021-06-21 3:00 | 41573 | 0 |

Table 1은 데이터 전처리한 시간별 정류장별 승객탑승 데이터이다. 시간대, 정류장에 맞는 승객수요가 정각마다 이벤트가 발생해 데이터를 불러와 갱신된다.

Table 2. Incheon 2 BusStop Information ( 128 columns )

| BS_NAME | StopNo | Place | Latitude | Longitude |
|---|---|---|---|---|
| 효성동동화운수차고지 | 41573 | 계양구 | 37.52851 | 126.7027 |
| 효성뉴서울아파트 | 41060 | 계양구 | 37.53258 | 126.7104 |
| 효성대신아파트 | 41041 | 계양구 | 37.52979 | 126.7112 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| 월미도 | 35148 | 중구 | 37.4769 | 126.5999 |

Table 2는 정류장별 위도와 경도가 나와 있는 테이블이다. 승객의 소스 생성 위치 정보는 Table 2를 참고하여 해당 위치에 생성된다. 이를 적용하여 가시화한 모델은 Fig 3으로 볼 수 있다.

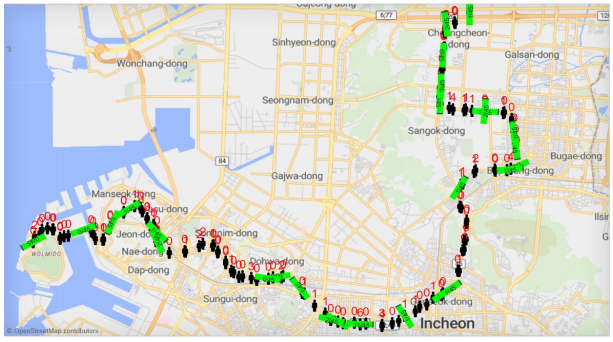


Fig. 3. Simulation Model

### 3.2 Passenger-wait Time Definition

Fig 4는 애니 로직에 구현된 승객 에이전트의 내부 모습이다. 승객 에이전트는 각각 위치하고 있는 버스 정류장의 이름, 위도, 경도, 정류장ID 정보를 담고 있다. 승객 소스 생성은 Table 1의 StopNo와 Passenger를 이용하여 1시간 단위로 이벤트가 발생하며 정류장별 승객 소스가 quantity 변수만큼 생성된다. 승객 대기시간은 승객 소스 생성 후 버스 탑승하기까지의 시간으로 정의했다.

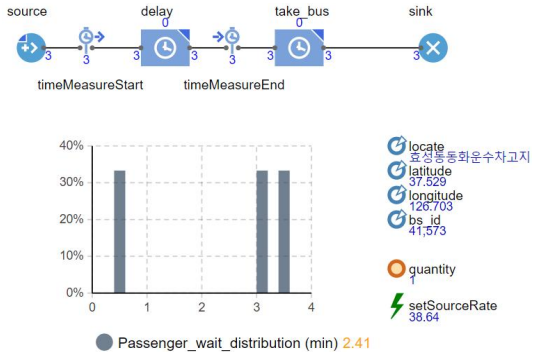


Fig. 4. Passenger Agent inner form

### 3.3 Greenhouse gas Calculation Method

버스 온실가스 배출량 산정 방법은 선행 연구에서 제시한 Tier 3 기법을 적용하였다[7]. Tier 3의 한계는 공차 시간의 온실가스 배출계수는 0으로 적용되는데, 이를 저속주행(4.7km/h)로 변환시켜 적용하기로 한다. 정류장 간 거리와 도착 시간은 교통카드 빅데이터 시스템[11]과 카카오버스 도착 시간 정보 데이터[12]를 이용하여 구간속도를 산정 하였다.

Table 3. Incheon 2 Bus Arrival and Distance

| BS_NAME | StopNo | Distance | ArrivalTime |
|---|---|---|---|
| 효성뉴서울아파트 | 41060 | 1.06 | 246 |
| 효성대신아파트 | 41041 | 0.337 | 187 |
| 효성신사거리 | 41031 | 0.279 | 64 |
| ... | ... | ... | ... |
| 월미도 | 35148 | 0.15 | 48 |

Table 3은 인천 2번 버스의 정류장 간 거리와 도착 시간을 알려주는 테이블이다. 이를 이용하여 버스의 정류장 별 구간속도를 산출한다. 버스 온실가스 배출계수는 현재 버스 대부분이 CNG 버스로 전환되고 전기차 버스 도입도 상용화하는 추세에 따라 CNG 버스의 배출계수로 적용하였다.

$E = \alpha x^{\beta}$ (단위 : g/km)

여기서,

$E$ = Emission Factor (배출계수)

$x = KPH$ (kilometer per hour)

($\alpha = 0.6338$ , $\beta = -0.6300$) (CNG 배출계수 상수)

위 식에서 나온 배출계수와 버스배차 대수, 버스의 이동거리와의 관계식은 다음과 같다.

$$Emission = S(B_n) \quad \text{..... (1)}$$

$$B_i = \sum_{j=1}^{n} ET_{ij} D_{ij} \quad \text{..... (2)}$$

$$S(Bn) = \sum_{i=0}^{m} \sum_{j=0}^{n} ET_{ij} D_{ij} \quad \text{..... (3)}$$

여기서, $Emission$ = 총 $CO_2$ 배출량(g/일)

$S(Bn)$ = 버스 n대가 이동할 때의 배출량 합

$ET_{ij}$ = $i$ 번째 버스의 $j$ 번 정류장을 통행하는 배출계수

$D_{ij}$ = $i$ 번째 버스의 $j$ 번 정류장까지의 통행 거리

### 3.4 Bus Simulation Algorithm

Fig 5, 6 ,7은 버스배차 시뮬레이션 알고리즘이다. 시뮬레이션 시작부터 종료까지의 알고리즘을 정의했다.

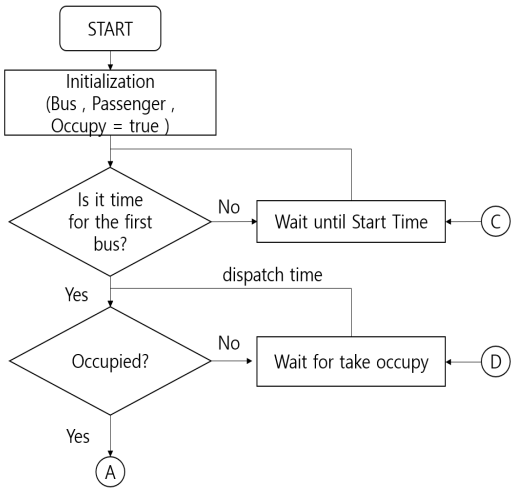


Fig. 5. Bus dispatch Simulation algorithm – Start

Fig 5는 시뮬레이션 시작부터 버스배차가 진행될 때까지의 흐름을 나타내는 그림이다. 시뮬레이션 시작 후 버스와 승객의 초기화를 진행한다. 버스의 대수를 설정하고 버스 대수의 절반씩 기점과 종점에 배치된다. 승객 에이전트는 데이터베이스에 있는 위도와 경도를 통해 정류장별 시간대에 맞는 승객 소스만큼 생성된다. 버스가 운행되는 시간인지 스케줄을 통해 확인하고 배차 간격 조절을 위해 현재 기점 종점에서 운행을 준비하는 버스인지 확인한다.

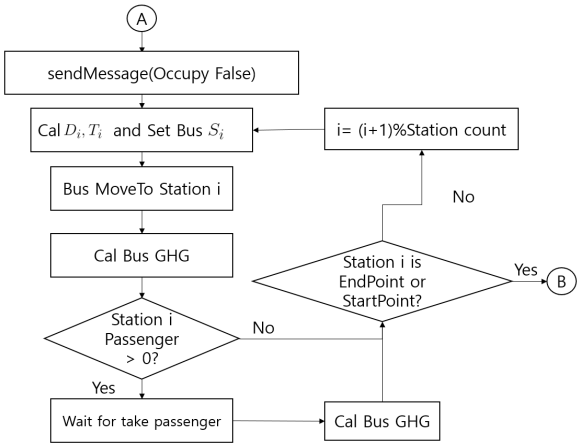


Fig. 6. Bus dispatch Simulation Algorithm – A

Fig 6은 운행 준비를 끝낸 버스가 배차를 시작하는 알고리즘이다. 운행 준비 버스는 배차 대기가 끝났음을 다른 버스에 알리고 i번째 정류장의 이동 거리와 시간을 계산하여 통행속도를 산정한다. 그 후 버스는 i번째 정류장에 도착 후 온실가스 배출량을 산정한다. i번째 정류장에 승객이 존재하면 승객을 태우고 대기시간만큼의 온실가스 배출량을 추가로 산정한다. 만약 승객이 없다면 그다음 정류장으로 이동한다. i번 정류장이 기점이거나 종점일 시 B로 진행하고 아닐 시 i는 1씩 증가하며 정류장 개수 이상 증가하지 않는다.

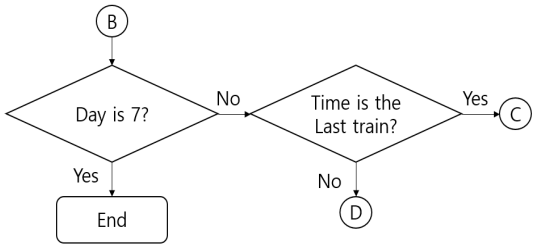


Fig. 7. Bus dispatch Simulation Algorithm – B

Fig 7은 시뮬레이션 종료를 판단하는 알고리즘이다. 기점 종점에서 막차 시간이면 C로 이동하고 막차 시간이 아니면 D로 이동하여 배차를 기다린다. 현재 시각이 시뮬레이션 종료 시각이면 시뮬레이션을 종료한다.

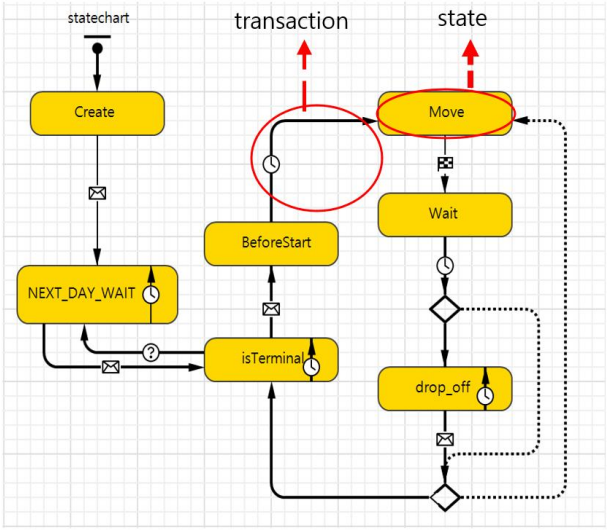


Fig. 8. Bus Agent inner form

Fig 8은 위에서 기술한 알고리즘을 시뮬레이션 내부에 표현한 모습이다. 버스의 상태는 state로 정의되고 state는 transaction에 의해 천이된다.

### 3.5 Simulation Assumptions and Constraints

시뮬레이션을 위한 가정과 제약조건은 다음과 같다.

- 교통체증 및 교차로에서의 멈춤은 발생하지 않는다. 실시간 교통상황 반영을 위한 데이터가 존재하지 않고 교차로 신호등의 변화 데이터가 없으므로 실험에서 제약조건에 넣었다.
- 승객의 시간대별 정류장 도착 분포는 균일 분포로 가정한다[4].
- 승객 하차는 정류장마다 재차 인원 존재 시 랜덤하게 발생한다. 승객 하차데이터가 있으나 탑승객이 어떤 정류장에서 내리는지에 대한 정보(OD, Origin-Destination)는 없으므로 랜덤하게 하차한다고 가정한다.
- 버스의 정류장 도착 후 다음 정류장으로 출발하기까지의 정차 시간은 승객인원수 x 5초만큼 정류장에 대기한다고 가정한다.
- 정류장 정차마다 버스 탑승객과 하차 승객의 수를 비교하여 둘 중 높은 수 만큼의 정차시간을 결정한다.

## IV. Experiment

실험은 배차 대수와 배차시간을 변경하면서 비교를 진행하였다. 2번 버스의 1대 운행시간은 약 237분이고 운행거리는 50.46km이다. 배차시간 7분에 맞게 운영하려면 약 33대의 버스가 필요하며, 배차 수를 줄이면 그에 맞는

배차시간 조절도 필요하다. 2번 버스의 실제 배차 대수는 평일 30대, 주말 17대이며 배차시간은 평일 7~9분, 주말 10분~13분이다. 노선 길이와 운행 버스 수와의 관계 때문에 실험을 진행할 때 배차 대수와 배차시간의 급격한 조절은 의미가 없다고 판단하여 배차 대수는 현재의 66%인 20대에서 약 33% 늘린 40대까지 증차하여 진행하였고 배차시간은 최저 4분에서 20분까지 변경하여 진행하였다.

### 4.1 Change of Bus Dispatch Time

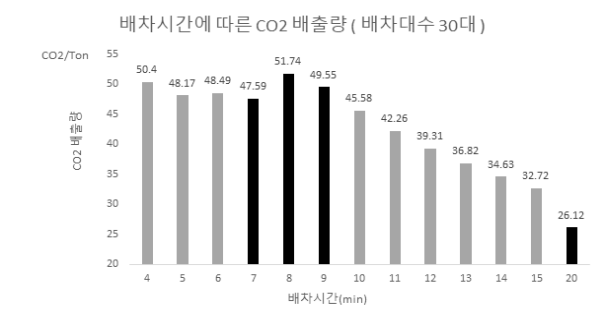


Fig. 9. CO2 emissions according to dispatch time

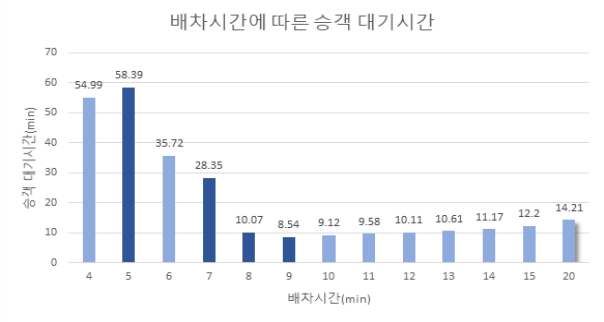


Fig. 10. Passenger waiting time according to dispatch time

배차시간과 배차 대수의 관계를 검증하기 위해 배차 대수는 기존(30대) 수로 유지하고 배차시간만을 변경하여 실험을 진행했다. 그 결과는 Fig 9과 Fig 10이다.

Fig 9와 Fig 10을 보면 배차시간이 줄어들 시 CO2 배출량 변화는 거의 없다. 반면 승객 대기시간은 기존 배차 운영시간인 9분으로 설정했을 시 약 8.54분에서 5분으로 설정했을 시 약 58.39분으로 약 6.83배 증가했다. 이는 배차 대수 30대, 5분 간격으로 운행했을 때 노선의 길이만큼 버스배차 대수가 승객 대기 수요를 충족시키지 못하기 때문에 발생한 것으로 보인다. 반면 배차시간을 늘렸을 때는 온실가스 배출량은 감소하게 되며 배차시간을 20분으로 가정하였을 때는 CO2 배출량이 일주일 평균 약 26.12t으로 기존 49.55t보다 약 48% 감소한 효과를 보였고 승객 대기시간은 8.54분에서 14.21분으로 약 66% 증가했다.

### 4.2 Change of the number of buses

다음은 배차시간은 기존(9분) 시간을 유지하고 배차 대수를 변경하여 실험을 진행했다.

Fig 11과 Fig 12를 보면 배차 대수를 감차할 시 CO2 배출량 변화는 서서히 감소하다가 30대에서 20대로 줄였을 때 31.26t으로 약 37% 감소한 효과를 보였다. 배차 대수를 증차하면 온실가스 배출량이 증가를 하나 오차범위(±1%) 내로 증가를 하였다.

배차 대수가 27대 이하로 감축될 시 승객 대기시간은 기하급수적으로 증가했다. 출/퇴근 시간에 승객 수요가 급증할 경우, 선행 버스가 정차하는 시간이 길어져 버스 간의 배차 간격이 원활히 조정되지 않기 때문에 발생한 것으로 보인다.

배차 대수를 30대 이상으로 증차 시에는 승객 대기시간 변화는 미미했다. 이는 실제 노선에서 배차시간을 9분으로 할 시 설정한 배차 수만큼의 운영을 하지 못하기 때문에 발생하는 것으로 보인다. 검증을 위해 시간의 흐름에 따른 승객 대기시간 변화 그래프를 검사했다. 그 결과는 Fig 13과 같다.

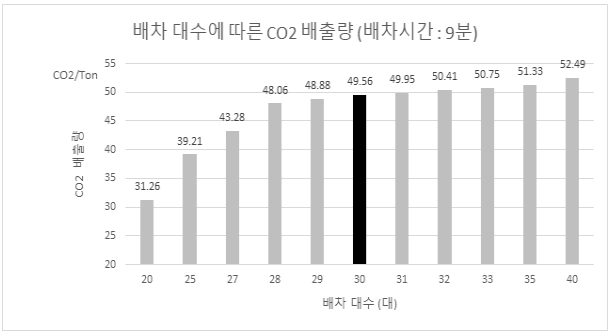


Fig. 11. CO2 emissions according to the number of buses

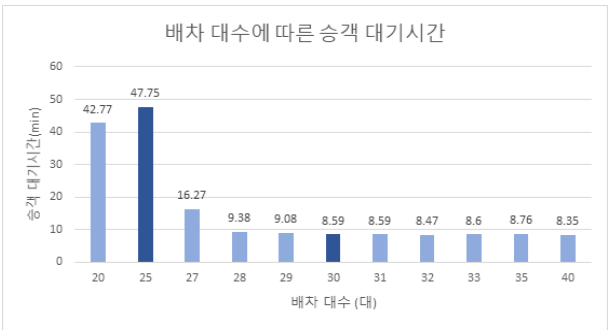


Fig. 12. Passenger waiting time according to the number of buses

Fig 13은 일주일간의 승객 대기시간 변화 그래프이다. 13-(A)는 배차시간 변경 시의 그래프를 나타낸 것이고, 13-(B)는 배차 대수 변경 시의 그래프를 나타낸 것이다. 8

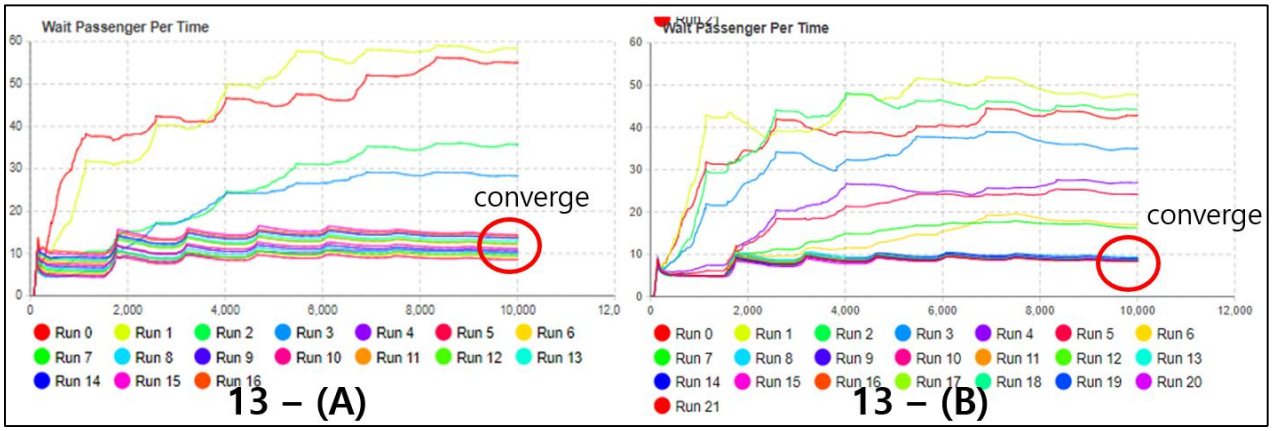


Fig. 13. Changes in passenger waiting time during the week

분 이상으로 설정했을 시 대기시간의 변화가 나타나지 않았고, 배차 대수는 28대 이상으로 설정했을 시 대기시간의 변화가 나타나지 않았다.

### 4.3 Selection for the optimal number of buses and dispatch time

4.1과 4.2를 통해 버스 배차시간과 배차 대수의 관계는 밀접한 연관이 존재해 한쪽만 줄이면 승객 대기시간이 대폭 증가하며, 배차 대수만 늘리면 버스 계획배차 대수만큼의 실제 운용을 하지 못하는 것을 확인하였다. 따라서 모든 경우의 수를 가정하고 시뮬레이션을 돌린 결과를 토대로 현재 (30대, 9분) 대비 감축된 온실가스 배출량과 승객 대기시간의 증가를 고려할 수 있는 수준의 배차시간과 배차 대수를 탐색하였다.

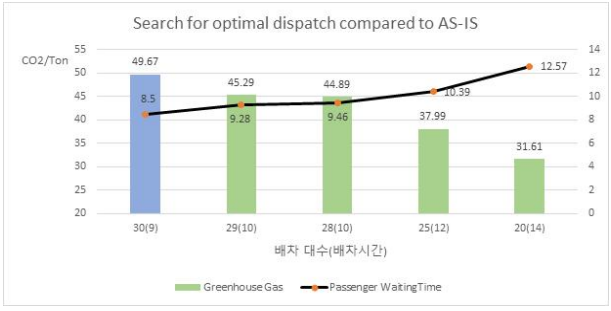


Fig. 14. Search for optimal dispatch compared to AS-IS

Fig 14를 보면 기존 AS-IS 모델(30대, 9분)에서 배차 대수를 1대 감차하고 배차시간을 10분으로 늘렸을 때 온실가스 감축은 약 8.8%의 효과가 있는 것으로 나타났다. 승객 대기시간 증가는 8.5분에서 약 9.28분으로 8.5% 증가하였다. 2030년까지 BAU 대비 37% 감축을 위해서는 20대, 14분으로 폭발적인 감차 및 배차시간 증가가 필요하다. 그러나 금전적인 문제 및 승객의 불만이 커질 우려가 있다. 2025년까지 전체 온실가스 배출량을 7.5% 감축해야 하는 것을 고려할 때[2], 1대 감차, 배차시간을 1분 증가시키면 2번 버스는 해당 기준을 만족할 수 있게 된다.

## V. Conclusions

지구 온난화를 늦추기 위해 국제협약에 참여하고 온실가스를 감축하기로 한 우리나라는 정밀한 온실가스 배출량 측정을 하는 것이 중요하다. 하지만 Tier 3 배출량 산정 모형의 경우 공회전 시간의 경우 온실가스 배출량 측정이 되지 않는다. 따라서 더욱 정밀한 측정을 위해 배출량 산정 모형의 개선이 필요하다. 또한, 본 연구는 승객수요가 높은 인천 2번 노선을 적용하여 시뮬레이션을 실험하였다. 승객 수요가 낮은 노선의 경우 일반적으로 배차 대수가 적고 배차시간이 불규칙하여 승객 수요패턴이 일정하지 않기 때문에 본 시뮬레이션을 적용하기엔 무리가 있다. 수요가 낮은 노선의 경우 노선 변경 및 폐지, 노선 신설을 통해 승객수요를 높일 필요가 있다. 본 연구의 한계점으로 시뮬레이션을 가정할 때 실시간 교통체증과 교차로에서의 멈춤은 고려하지 않았고 버스 도착 시간 정보는 평일 낮 시간을 이용해 첨두시에는 결과가 바뀔 수 있다. 두 번째로 차내 혼잡도를 고려하지 않은 점이다. 차내 인원이 51명이 넘으면 차내 승객들은 불쾌감을 느낀다는 조사 결과가 있다[13]. 따라서 혼잡도와 차량 용량제약 또한 고려하는 것이 필요하다. 또한, 승객의 하차지점을 정류장마다 랜덤하게 설정하여 실제 하차지점인지 알지 못하는 점이 존재한다. 향후 승객의 OD 데이터를 활용한다면 하차지점을 유추해 정교한 모델을 개발할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 국내 버스는 계획 운행 횟수를 준수하지 못하는 경우가 많다[14]. 따라서 버스 운행 계획을 보다 현실적으

로 조정하는 방안도 필요하다. 마지막으로 본 시뮬레이션은 일주일 치 데이터를 사용하여 실험하였다. 월 단위 혹은 년 단위의 데이터를 확보하여 시뮬레이션을 적용한다면 더욱 정교한 승객수요 패턴이 나올 것으로 예상된다.

본 연구는 실제 승객들의 승차 데이터를 사용하여 노선에 적용하여 시각적으로 온실가스 배출량과 승객의 대기시간을 확인할 수 있다는 점에서 의미가 있다. 또한, 현재 운행 중인 2번 버스를 모델로 하여 버스배차 대수와 배차간격을 설정하여 일주일의 온실가스 배출량 및 승객 대기시간을 예측하였다. 그 결과 1대 감차, 배차시간 1분 증가시킬 때 2025년 감축 목표량에 부합하는 결과가 나왔다. 본 연구가 제시한 시뮬레이션 모형을 전 노선에 적용한다면 버스 온실가스 감축에 도움이 될 것으로 기대한다.

## REFERENCES


[1] J. H. Jung, joongang, https://www.joongang.co.kr/article/24124148#home

[2] Ministry of Environment. https://www.korea.kr/special/policyFocusView.do?newsId=148881718&pkgId=49500758

[3] S. W. Jeon, J. W. Lee and C. M. Jun, “Development of an Algorithm for Minimization of Passengers’ Waiting Time Using Smart Card Data”, Journal of Korea spatial information society 22(5), 65-75, 2014. DOI : https://doi.org/10.12672/ksis.2014.22.5.065

[4] G. F. Newell, “Some Issues Relating to the Optimal Design of Bus Routes”, Transportation Science, 13(1), 20-35, 1979. DOI : https://doi.org/10.1287/trsc.13.1.20

[5] S. H. Bae, T. Y. Kim and B. Y. Ryu, “Improvement of Optimal Bus Scheduling Model Reflecting Bus Passenger's Degree of Satisfaction”, The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, vol.6, no.3, 12-23, 2007.

[6] J. S. Park, S. Y. Ko, J. S. Kim and Y. S. Kwon, “Determining Transit Vehicle Dispatching Time”, Journal of Korean Society of Transportation, 25(3), 137-144, 2007.

[7] D. J. Kim, S. E. Jang, “A study on estimation CO2 emissions using BMS datas”, Proceedings of the KOR-KST Conference 66, 477-482, 2012.

[8] J. Y. Lee, S. W. Shin, J. S. Kim, S. M. Bae and C. M. Kim, “Interrelation Analysis of UGV Operational Capability and Combat Effectiveness using AnyLogic Simulation”, Journal of Applied Reliability 15(2), 131-138, 2015.

[9] D. H. Jung, J. E. Baek and Y. S. Choi, “Simulation and Real-time Visualization of Truck-Loader Haulage Systems in an Open Pit Mine using AnyLogic”, Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers Vol. 57, No. 1 pp, 45-57, 2020. DOI : https://doi.org/10.32390/ksmer.2020.57.1.045

[10] Incheon Metropolitan City_Status of Bus Stops by Bus Route. https://www.data.go.kr/data/15048265/fileData.do

[11] Transportation card big data system. https://www.stcis.go.kr/pivotIndi/wpsPivotIndicator.do?siteGb=P&indiClss=IC03&indiSel=IC0303

[12] Incheon arrival information data. https://www.data.go.kr/data/15059084/openapi.do

[13] J. E. Kim, S. H. Cheon and Y. I. Lee, “A Development For Bus Interval Decision Model Considering Congestion Ratio”, Proceedings of the KOR-KST Conference 64, 292-296, 2011.

[14] S. J. Kim, Y. E. Shin, “Optimal Headways of Urban Bus Service, Reflecting Actual Cycle Time and Demand”, Journal of The Korean Society of Civil Engineers 38(1), 167-174, 2018. DOI : https://doi.org/10.12652/Ksce.2018.38.1.0167


## Authors

Sang Won Jung received the A.S. degree in Computer Information Engineering from Inha Technical College, Korea, 2021 respectively. Mr. Jung entered the Inha Technical College in 2016 and graduated in 2021.

He has experience in IT practice and interested in IT and the fourth industrial revolution.

Kyu-Cheol Cho received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science and Information Engineering from Inha University, Korea, in 2005, 2007 and 2013, respectively.

Dr. Cho joined the faculty of the Department of Computer Science at Inha Technical College, Incheon, Korea, in 2016. He is currently a assistant professor in the Department of Computer Science, Inha Technical College. He is interested in cloud computing, green IT and web programming.