

BuStop · 화랑로 정류장 안전개선 프로젝트

화랑로 월곡역·동덕여대앞 버스정류장

교통안전 개선 방안

기존 교통섬을 스마트 승강장으로 전환하는 안

구분	내용
대상	서울 성북구 화랑로 · 월곡역(43·42) · 동덕여대앞(44) 정류장
현장조사	2026-08-25 (1 차, 18:38~18:56) · 2026-08-30 (2 차 재실측)
자료	교통카드 2026-07 · 교통량조사 지점 RO001A022 · TAAS 2025 · TAGO 2026-08
분석	미시 시뮬레이션 7 개 대안 × 100 회 반복 · 쌍체 부트스트랩 95 % 신뢰구간
작성일	2026-08-31

한 줄 결론

월곡역(43)·동덕여대앞(44) 두 정류장을 폐지하고 그 사이 교통섬(실측 최대폭 17.0 m)에 저상버스 2 대가 동시에 접안하는 통합 정류장 1 개소를 신설하면, **차로 폭을 전혀 바꾸지 않고** 승객이 차도에 노출되는 횟수를 **시간당 192 회에서 5 회로(-97 %)** 줄일 수 있다.

검토한 7 개 대안 가운데 **승객 노출·보행 상충·차량 지체·버스 지체 네 지표가 모두 개선되는 대안은 이 통합안뿐이다.** 비용은 승객의 접근 거리가 최대 97 m 늘어나는 것이다.

목 차

1. 배경	4
1.1 프로젝트 제안 배경	4
1.2 프로젝트 지향성과 목표	4
1.3 대상 구간	4
1.4 문제의 구조 — 세 단계로 이어진다	4
2. 목적과 방법	5
2.1 목적	5
2.2 조사·분석 방법	5
2.3 쌍체 부트스트랩이란 무엇인가	5
3. 현황	7
3.1 월곡역(43) · 석계 방면	7
3.2 동덕여대앞(44) · 석계 방면	7
3.3 월곡역(42) · 성북보건소 방면	9
3.4 교통혼잡	9
3.5 교통섬 현황	10
4. 분석 결과	11
4.1 정류장 형태별 승객·차량 위치 관계	11
4.2 시뮬레이션 결과	11
4.3 현행 대비 쌍체 차이 — 대안 전체	11
4.4 대안 간 직접 비교 — 통합 정류장의 형태	13
5. 제안 — 교통섬 통합 스마트 승강장	13
5.1 제안의 요지	13
5.2 제안의 근거	14
5.3 도면 (가로 배치)	15
5.4 스마트 정류장과 폭염 대응	18
5.5 교통영향 검토	18
6. 한계와 다음 단계	19
7. 이번 개정에서 바뀐 것	20
부록 · 자료 출처	21
그림·도면 차례	
그림 1 월곡역(43) — 연석에 붙지 못한 버스 옆으로 차량이 지나간다	7
그림 2 동덕여대앞(44) — 전면 점유 → 차로 정차 → 차도 승차	8
그림 3 골목 합류 대기 차량의 횡단보도 점유	8
그림 4 고가 하부 정체 행렬	9
그림 5 정류장 형태별 승객·차량 위치 관계	11
도면 01 승강장 배치도	15
도면 02 횡단면 A-A	16

도면 03 조감 전망도.....17

1. 배경

1.1 프로젝트 제안 배경

월곡역 정류장과 동덕여대앞 정류장에서는 교통 정체로 버스가 정류장에 진입하지 못하고, 승객이 차도에서 타고 내리는 현상이 반복된다. 승객이 차도로 나와 승하차하는 상황은 다른 차량의 흐름을 방해할 뿐 아니라 승객의 안전을 직접 위협하며, 잠재적 교통사고를 유발하는 요인으로 작용한다.

따라서 이 프로젝트는 두 정류장을 폐지·통합하여 잠재적 교통사고를 예방하고 교통 흐름을 원활히 함으로써 승하차 환경을 개선하는 것을 제안한다. 정체 구간에서 운전자가 상황을 인지하고 대응하기 쉽게 만들어 주변 교통사고를 줄이는 방향이다. 구체적으로는 화랑로 방향의 월곡역(43) 정류장과 동덕여대앞(44) 정류장을 없애고, 두 정류장 사이에 있는 교통섬에 개선된 정류장 1 개소를 신설한다. 이를 통해 운전 판단의 복잡성을 낮춰 운전 편의성과 교통 원활성을 높이고, 차도로 나와 대중교통을 이용하는 승객의 사고 위험을 줄여 교통안전 향상을 도모한다.

1.2 프로젝트 지향성과 목표

지향	목표
승차 접근성 · 환경 개선	개선된 정류장 신설로 승객의 승차 접근성을 높이고, 교통섬 주변 환경 변화를 통해 성북구 화랑로 일대의 스마트 교통환경 개선을 확대한다
교통안전 확보	정류장 폐쇄·통합으로 승객을 잠재적 교통사고 위험에서 분리한다
운전 편의성 향상	승하차에 따른 교통 정체를 완화해 운전자의 시각적·인지적 부담을 줄인다
정체 완화	월곡로 램프 주변 교통 정체의 완화를 도모한다

이 보고서가 확인한 것

제안된 방향 — 두 정류장 폐지 + 교통섬에 통합 정류장 1 개소 신설 — 은 시뮬레이션의 대안 C(통합 만입형) 및 F1(교통섬·보도 접속)에 해당한다. 두 대안은 모형에서 「중간 지점의 통합 정류장 1 개소」로 동일하게 구현되며, 아래 4장에서 이 방향이 **현행 대비 네 개 지표 모두에서 개선**되는 유일한 대안임을 확인했다.

1.3 대상 구간

서울 성북구 화랑로의 월곡역 일대에는 버스정류장 3 개소가 있다. 지하철 6호선 월곡역(일평균 이용 21,046 명)과 동덕여자대학교 통학 수요가 겹치는 구간으로, 세 정류장의 일 이용은 합계 4,339 명이다. 화랑로는 편도 2 차로이며, 2026-08-25 실측 결과 차도 폭은 6.8 m(차로당 약 3.4 m)였다.

정류장 · 방면	일 이용	승차	하차	경유 노선
월곡역(43) · 석계 방면	2,098	1,458	641	120 · 173 · 1111 · N51
동덕여대앞(44) · 석계 방면	742	377	365	120 · 173 · 1111 · 1226 · N51
월곡역(42) · 성북보건소 방면	1,499	360	1,138	120 · 173 · 1111 · 1226 · N51

출처: 서울 열린데이터광장 「버스노선별 정류장별 시간대별 승하차 인원」 2026-07 월평균 (명/일). 월곡역은 방면이 다른 두 정류장이 있어 이 보고서에서는 43·42를 방면 이름으로 구분한다.

1.4 문제의 구조 — 세 단계로 이어진다

현장 기록을 정리하면 문제는 하나의 사건이 아니라 세 단계의 연쇄다.

- ① **전면 점유** — 정류장 앞을 화물차·승용차 또는 골목 합류 대기 차량이 차지한다.
- ② **차로 정차** — 버스가 연석에 붙지 못하고 차로 위에 멈춘다.
- ③ **차도 승하차** — 승객이 보도가 아니라 차도에 발을 딛고 타고 내린다. 그 사이 옆 차로는 계속 흐른다.

세 번째 단계가 이 프로젝트가 다루는 문제다. 첫 단계인 골목 진출입은 주민·상인의 생활 동선이므로 통제 대상이 아니며, 개선안은 골목을 막지 않는 것을 전제로 설계했다.

사고 이력

이 구간(하월곡동 바른온누리약국 부근)은 2025 년 성북구 교통사고 다발지역 3 위다. 사고 40 건 · 사상자 51 명(사망 0 · 중상 6 · 경상 45).

다만 사고는 드문 사건이므로, 이 보고서는 사고 건수 대신 「정차 중인 버스 옆 인접차로를 차량이 통과한 횟수」를 대리안전지표(surrogate safety measure)로 사용한다.

2. 목적과 방법

2.1 목적

승객이 차도에 노출되는 상황을 줄이는 것이 목적이다. 다만 다음 네 가지 제약을 동시에 만족해야 실행 가능한 안이 된다.

	설계 원칙	이유
①	골목 진출입을 막지 않는다	주민·상인의 생활 동선이므로 통제할 수 없다
②	차로 수와 차로 폭을 줄이지 않는다	저녁 첨두 교통량 1,632 대/시를 처리해야 한다
③	승객이 차도를 걷는 구간을 0 으로 만든다	이것이 이 프로젝트의 본래 목표다
④	버스 통행시간을 크게 늘리지 않는다	운수업체·이용자 수용성 확보

2.2 조사·분석 방법

단계	내용	자료 · 방법
현장 관측	영상 7 편 · 사진 8 매	2026-08-25 18:38~18:56 촬영. 정차·승하차·합류 장면 기록
실측	도로·신호·부지 치수	2026-08-25 1 차, 2026-08-30 2 차 재실측(줄자·스톱워치)
공공 데이터	승하차 · 교통량 · 사고	서울 열린데이터광장 / 서울시 교통량조사 / TAAS / TAGO
시뮬레이션	대안 7 개 × 100 회	Newell 차량추종 + TCQSM 정차시간. 동일 난수열(CRN) 적용
통계 처리	쌍체 부트스트랩	현행 대비 차이의 95 % 신뢰구간 산출

시뮬레이션은 대안 간 비교를 위한 것이며, 절대값은 잠정치다. 인용 시 시뮬레이션 결과임을 함께 밝혀야 한다.

2.3 쌍체 부트스트랩이란 무엇인가

4 장의 신뢰구간은 「쌍체(대응표본) 부트스트랩」으로 구했다. 낯선 용어이므로 절차를 그대로 적는다.

단계	하는 일	이 프로젝트에서의 실제
1	같은 조건을 찍지어 돌린다	난수 씨앗 90000 번으로 현행(A)을 돌리고, 같은 씨앗 90000 번으로 교통섬안을 돌린다. 도착 순서·차종·정차시간이 완전히 같은 하루를 두 번 사는 셈이다 (Common Random Numbers)

단계	하는 일	이 프로젝트에서의 실제
2	짝마다 차이를 낸다	1 회차 차이, 2 회차 차이 ... 100 회차 차이 → 차이값 100 개. 같은 날을 비교하므로 「그날 유난히 차가 많았다」 같은 잡음이 상쇄된다
3	차이값을 다시 뽑는다	차이값 100 개에서 복원추출로 100 개를 뽑아 평균을 낸다. 이것을 4,000 번 반복한다 (부트스트랩)
4	가운데 95 %를 자른다	4,000 개의 평균을 정렬해 아래 2.5 % 지점과 위 2.5 % 지점을 버린다. 남은 구간이 95 % 신뢰구간이다

읽는 법 — 0 을 포함하는가만 보면 된다

신뢰구간이 **0 을 포함하지 않으면** 그 방향의 차이가 확인된 것이다. 예: 차량 지체 -0.80 초 $[-1.10, -0.52]$ → 구간 전체가 0 보다 작으므로 「지체가 줄어든다」 고 말할 수 있다.

신뢰구간이 **0 을 포함하면** 차이를 구별할 수 없다는 뜻이다. 예: 만입형의 보행 상충 $+1.63$ 회/시 $[-2.08, +5.45]$ → 늘었는지 줄었는지 말할 수 없다. 「효과 없음」 이 아니라 「이 자료로는 판단 불가」 다.

신뢰구간은 시뮬레이션 반복에 따른 불확실성만 담는다. 모형 가정이 틀렸을 가능성은 담지 못한다. 가정의 불확실성은 6 장 한계에서 따로 다룬다.

재측정으로 정정한 사항

1 차 조사에서 월곡역(43)~동덕여대앞(44) 간격을 60 m 로 기록했으나, 2026-08-30 재측정 결과 **194 m** 였다. 버스 약 18 대 길이로 두 정류장은 사실상 독립적으로 작동한다.

이에 따라 「두 정류장이 서로 막는다」 는 이전 설명과 「통합하면 안전이 개선된다」 는 결론은 **철회했다**. 접안 실패의 원인은 간격이 아니라 전면 점유와 골목 합류다.

3. 현황

3.1 월곡역(43) · 석계 방면

세 정류장 중 이용이 가장 많다(일 2,098 명). 승차 1,458 명 / 하차 641 명으로 지하철에서 나와 버스를 타는 승차 우세 정류장이다. 가로변 정차 방식이라 버스가 1 차로에 그대로 멈춘다.



그림 1. 연석에 붙지 못한 버스 옆으로 차량이 계속 지나간다 — 월곡역(43). 120 번 버스가 연석에서 한 차로 떨어진 자리에 정차해 있고, 버스 앞쪽 차도를 걸어 보도로 올라오는 사람이 있다. 바로 옆 차로에는 승용차 행렬이 멈추지 않고 지나간다. (영상 캡처 VID_20260825_184231308 37 초, 2026-08-25 18:43)

이 장면이 이 프로젝트가 세는 「위험 노출」의 실제 모습이다. 승객은 버스에 가려 접근 차량에게 늦게 보이고, 접근 차량도 버스에 가려 승객에게 늦게 보인다. 시야가 서로 막힌 상태에서 두 주체가 같은 공간을 쓰는 것이 이 상황의 본질이다.

3.2 동덕여대앞(44) · 석계 방면

월곡역(43)에서 194 m 하류에 있다. 일 이용 742 명으로 규모는 작지만, 정류장 전면 점유와 골목 합류가 겹쳐 접안 실패가 가장 자주 관찰된 지점이다.



그림 2. 전면 점유 → 차로 정차 → 차도 승차 — 동덕여대앞(44). 정류장 앞쪽 연석에 흰색 승용차가 서 있어 녹색 지선버스가 연석에 붙지 못했다. 앞문이 차도 위에서 열려 승객이 노면에서 곧바로 계단을 오르고, 장바구니 카트를 끄는 승객도 차도를 걷는다. (영상 캡처 VID_20260825_185522622 7 초, 2026-08-25 18:55)



그림 3. 횡단보도와 보도 접속부를 점유한 골목 합류 대기 차량. 차량 앞바퀴가 횡단보도와 점자블록 위에 걸쳐 있어 보행자는 차도 쪽으로 우회하게 된다. (2026-08-25 18:47)

골목 합류가 만드는 결과는 세 가지다. ① 횡단보도·점자블록 점유로 보행 동선 차단, ② 정류장 전면을 채워 버스 접근 방해, ③ 합류할 때마다 본선 차량이 한 번씩 감속.

3.3 월곡역(42) · 성북보건소 방면

반대 방향 정류장이다. 하차 1,138 명 / 승차 360 명으로 하차가 승차의 3.2 배인 하차 우세 정류장이다. 내린 승객 대부분이 길을 건너야 하므로 이 정류장의 안전 과제는 승하차 자체가 아니라 하차 후 횡단이다. 신호 주기가 140 초여서 횡단 기회를 한번 놓치면 최대 2 분을 기다려야 한다.

3.4 교통혼잡

저녁 첨두(18~19 시) 석계 방면 교통량은 1,632 대/시로 하루 중 가장 많다. 차종 구성은 승용차 1,090 · 버스 164 · 소형화물 89 · 중형화물 27 · 기타 262 대다. 승객이 가장 많은 시간과 차가 가장 많은 시간이 겹치는 것이 이 구간의 특징이다.



그림 4. 고가 하부에서 승용차 → 승합차 → 굴착기 화물차 → 1111 번 버스가 모두 제동등을 켜 채 한 줄로 멈춰 있다. 이 상태에서는 버스가 연석 쪽으로 차로를 바꿀 공간 자체가 없다. (영상 캡처 VID_20260825_184633582 50 초, 2026-08-25 18:47)

현장에서 잦은 값

항목	실측값	의미
편도 2 차로 폭	6.8 m 이상	차로당 약 3.4 m. 버스(2.5 m)가 서면 옆 차로 여유가 거의 없다
신호 주기	140 초	보행 녹색 20 초 + 보행 대기 120 초
보행 녹색	20 초	6.8 m 횡단에 필요한 시간은 약 7 초 — 시간 자체는 충분하다
보행 대기	120 초	한 번 놓치면 2 분 대기. 무단횡단의 가장 큰 원인
정류장 간격 43↔44	194 m	버스 약 18 대 길이. 두 정류장은 독립적으로 작동한다

측정: 2026-08-25 1 차 · 2026-08-30 2 차 재실측 (줄자 및 스톱워치).

아직 확인되지 않은 값

측정한 20 초·120 초는 **보행 신호**로 보고 있다. 이를 차량 직진 신호로 보면 처리 용량이 시간당 584 대가 되어 실측 교통량 1,632 대/시의 1/3 에 그치는데, 현장 영상에서는 매 주기 차량이 빠져나간다.

차량 직진 녹색시간은 현재 66 초($g/C = 0.471$, $V/C = 0.85$)로 보정해 쓰고 있으며, **직접 측정이 필요하다.**

3.5 교통섬 현황

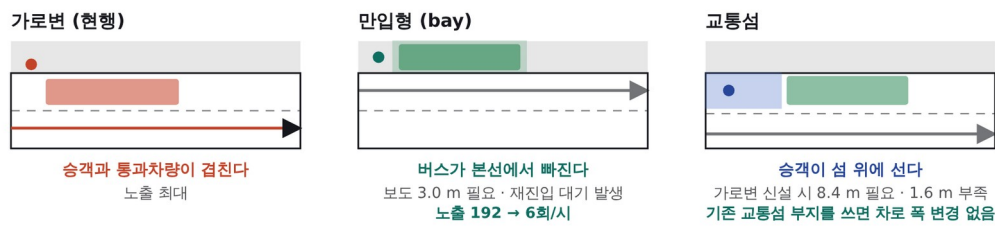
월곡역 교차로에는 유선형 교통섬이 있다. 사용자 실측 스케치의 세 치수로 외곽선을 복원했다(오차 0.01 m 미만).

항목	값	비고
최대폭	17.00 m	실측
도로측 유선변	48.00 m	실측 — 크게 볼록한 곡선
반대측 유선변	34.00 m	실측 — 거의 직선에 가까움
복원 면적 / 전장	416.8 m ² / 35.77 m	복원 외곽선 기준
하부 유선변	3.30 m	미측정 · 형상 최적화 결과
도로측 곡률반경	R = 16.77 m	복원 외곽선에 적합

중요한 것은 **이 부지가 도로 밖에 이미 존재한다**는 점이다. 승강장을 만들기 위해 차도에서 폭을 빼앗을 필요가 없다는 뜻이며, 이것이 5 장 제안의 출발점이다.

4. 분석 결과

4.1 정류장 형태별 승객·차량 위치 관계



붉은 점 = 승객, 초록/붉은 막대 = 버스, 화살표 = 통과 차량의 경로
세 형태의 차이는 통과 차량의 경로가 승객이 서는 자리를 지나가는가에 있습니다.
정류장의 개수나 위치가 아니라 이 관계가 노출 횟수를 결정합니다.

그림 5. 가로변 · 만입형 · 교통섬 세 형태의 비교. 가로변에 새로 교통섬을 끼워 넣으려면 차도폭 8.4 m 가 필요한데 실측은 6.8 m 로 1.6 m 부족하다.
그러나 기존 교통섬 부지를 쓰면 차로 폭을 바꿀 필요가 없다.

4.2 시뮬레이션 결과

동일한 난수열로 대안별 100 회씩 돌린 결과다. 「승객 옆 통과」가 이 프로젝트의 핵심 지표다.

대안	승객 옆 통과 (회/시)	보행 상충 (회/시)	차량 지체 (초)	버스 지체 (초)
A 현행 · 가로변	192.4	53.7	55.7	69.3
B 만입형 2 개소 (제자리)	6.4	55.3	55.2	77.1
C 통합 만입형	5.2	46.8	54.9	67.5
D 통합 가로변	129.8	46.9	56.0	62.8
F1 교통섬 · 보도 접속	5.5	45.2	55.0	75.7
F2 교통섬 · 분리 (무신호)	6.0	539.4	55.4	76.3
F3 교통섬 · 분리 + 보행신호	5.0	12.3	59.8	77.6

100 회 반복 평균. F2(보행신호 없는 분리형)는 보행 상충이 539 회/시로 현행보다 10 배 악화된다 — 채택 불가.

4.3 현행 대비 쌍체 차이 — 대안 전체

4.2의 평균만으로는 차이가 우연인지 알 수 없다. 아래는 대안 6 개를 각각 현행(A)과 짝지어 낸 차이와 95 % 신뢰구간이다. 모두 같은 시뮬레이션(대안별 100 회, 동일 난수열)의 결과이며, 특정 대안만 따로 돌린 것이 아니다. 음수는 현행보다 좋아진 것, 양수는 나빠진 것이다.

① 승객 옆 인접차로 통과 (회/시) — 낮을수록 좋다

대안	현행 대비 차이	95 % 신뢰구간	판정
B 만입형 2 개소 (제자리)	-186.08	[-195.1, -177.2]	개선
C 통합 만입형	-187.23	[-195.9, -178.7]	개선
D 통합 가로변	-62.61	[-66.6, -58.5]	개선 (작음)
F1 교통섬 · 보도 접속	-186.91	[-195.6, -178.5]	개선
F2 교통섬 · 분리 (무신호)	-186.47	[-195.1, -177.8]	개선

대안	현행 대비 차이	95 % 신뢰구간	판정
F3 교통섬 · 분리 + 보행신호	-187.47	[-196.4, -179.0]	개선

② 보행 상충 (회/시) — 낮을수록 좋다

대안	현행 대비 차이	95 % 신뢰구간	판정
B 만입형 2 개소 (제자리)	+1.63	[-2.1, +5.5]	구별 불가
C 통합 만입형	-6.92	[-10.9, -3.1]	개선
D 통합 가로변	-6.81	[-10.8, -2.8]	개선
F1 교통섬 · 보도 접속	-8.49	[-12.4, -4.7]	개선
F2 교통섬 · 분리 (무신호)	+485.76	[+472.0, +499.6]	악화 — 채택 불가
F3 교통섬 · 분리 + 보행신호	-41.39	[-44.5, -38.3]	크게 개선

③ 차량 지체 (초) — 낮을수록 좋다

대안	현행 대비 차이	95 % 신뢰구간	판정
B 만입형 2 개소 (제자리)	-0.45	[-0.72, -0.18]	개선
C 통합 만입형	-0.80	[-1.10, -0.52]	개선
D 통합 가로변	+0.31	[+0.08, +0.53]	악화 (작음)
F1 교통섬 · 보도 접속	-0.67	[-0.94, -0.42]	개선
F2 교통섬 · 분리 (무신호)	-0.30	[-0.60, +0.01]	구별 불가
F3 교통섬 · 분리 + 보행신호	+4.08	[+3.59, +4.59]	악화

④ 버스 지체 (초) — 낮을수록 좋다

대안	현행 대비 차이	95 % 신뢰구간	판정
B 만입형 2 개소 (제자리)	+7.80	[+6.9, +8.6]	악화
C 통합 만입형	-1.82	[-2.7, -1.0]	개선
D 통합 가로변	-6.47	[-7.2, -5.8]	개선
F1 교통섬 · 보도 접속	+6.39	[+5.4, +7.3]	악화
F2 교통섬 · 분리 (무신호)	+6.98	[+6.0, +7.9]	악화
F3 교통섬 · 분리 + 보행신호	+8.29	[+7.4, +9.2]	악화

대안별 100 회 반복 · 동일 난수열(CRN) · 부트스트랩 4,000 회. 표의 6 개 대안은 모두 같은 시뮬레이션에서 나온 결과이며, F3 행도 다른 대안과 동일한 조건에서 얻은 F3 하나의 결과다.

네 지표 모두 개선되는 대안은 하나뿐이다

C (통합 만입형) 만이 **승객 노출 · 보행 상충 · 차량 지체 · 버스 지체** 네 지표 모두에서 **현행보다 좋고, 네 신뢰구간이 모두 0 을 포함하지 않는다.**

C는 「두 정류장을 폐지하고 중간 지점에 통합 정류장 1 개소를 두는 안」 이다 — **1.1 에서 제안한 방향과 같다.**

B(제자리 만입형 2 개소)는 보행 상충을 줄이지 못하고(구별 불가) 버스를 7.8 초 느리게 만든다. D(통합 가로변)는 승객 노출을 3 분의 1 만 줄인다. F2 는 채택 불가다.

4.4 대안 간 직접 비교 — 통합 정류장을 어떤 형태로 지을 것인가

C(만입형)와 F1(교통섬형)은 모형에서 위치가 같다. 둘 다 중간 지점의 통합 정류장 1 개소다. 차이는 정류장 형태뿐이므로 직접 비교했다.

지표	C - F1	95 % 신뢰구간	판정
승객 옆 통과 (회/시)	-0.32	[-0.84, +0.19]	구별 불가
보행 상충 (회/시)	+1.57	[-1.62, +4.64]	구별 불가
차량 지체 (초)	-0.13	[-0.24, -0.02]	거의 같음
버스 지체 (초)	-8.21	[-8.97, -7.45]	C가 유리

안전 지표는 두 형태가 구별되지 않는다. 유일한 차이는 버스 지체 8.2 초이며, 그 8.2 초가 어디서 나오는지를 모형에서 추적했다.

버스 지체 8.2 초는 「가정한 두 값」에서 나온다

모형은 교통섬형에 두 가지 별점을 준다 — 진입·진출 테이퍼 우회 6.0 초(DIVERT_PEN)와 본선 재진입 요구간격 4.5 초(만입형 3.2 초). 둘 다 실측이 아니라 **가정값(근거등급 A)**이다.

확인을 위해 이 두 값을 만입형과 같게 두고(우회 0 초, 재진입 3.2 초) F1 을 100 회 재실행했다. 결과는 네 지표 모두 **C 와 완전히 일치했다(차이 0.00)**.

즉 **교통섬형의 버스 지체 불이익은 「버스가 섬을 돌아 나가야 한다」는 가정에서만 나온다**. 5 장의 설계는 섬의 볼록부를 잘라 정차차로를 직선·등폭(3.4 m)으로 만들므로 버스가 우회할 필요가 없다. 이 설계에서는 실제 지체가 C 에 가까울 것으로 본다.

다만 이는 모형 안의 확인이며, 실제 우회시간은 실시설계 후 현장에서 검증해야 한다.

5. 제안 — 교통섬 통합 스마트 승강장

5.1 제안의 요지

월곡역(43)과 동덕여대앞(44) 두 정류장을 폐지하고, 그 사이 유선형 교통섬을 **저상버스 2 대가 동시에 접안하는 통합 승강장 1 개소**로 개조한다. 섬의 도로측 볼록부 95.1 m² 를 잘라 길이 24.12 m 의 직선 연석을 만들고, 잘라낸 면적은 그대로 차도로 돌려 정차차로 3.4 m 를 전 구간에서 일정하게 확보한다.

정차면을 직선·등폭으로 만드는 것은 접안 정밀도만을 위한 것이 아니다. **버스가 섬을 우회하지 않고 직진 상태로 정차·출발하게 만들어 버스 지체 불이익을 없애는 것**이 또 하나의 목적이다(4.4 참조).

항목	값	근거
직선 정차면 길이	24.12 m	저상버스 10.9 m × 2 + 여유 2.3 m
차도로 반환하는 면적	95.1 m ²	도로측 볼록부 절취분 (최대 깊이 약 4 m)
승강장 면적 / 깊이	321.7 m ² / 11.52 m	원 부지 416.8 m ² 의 77 %
캐노피	24.0 × 4.0 = 96 m ²	기둥 7 × 2 열 @3.8 m, 유효고 3.55~4.15 m
동시 대기 수용	약 130 인	유효 대기면적 118 m ² · 보행 LOS C (0.9 m ² /인)
차로 폭 변경	없음	3.4 + 3.4 m 실측값을 그대로 유지

5.2 제안의 근거

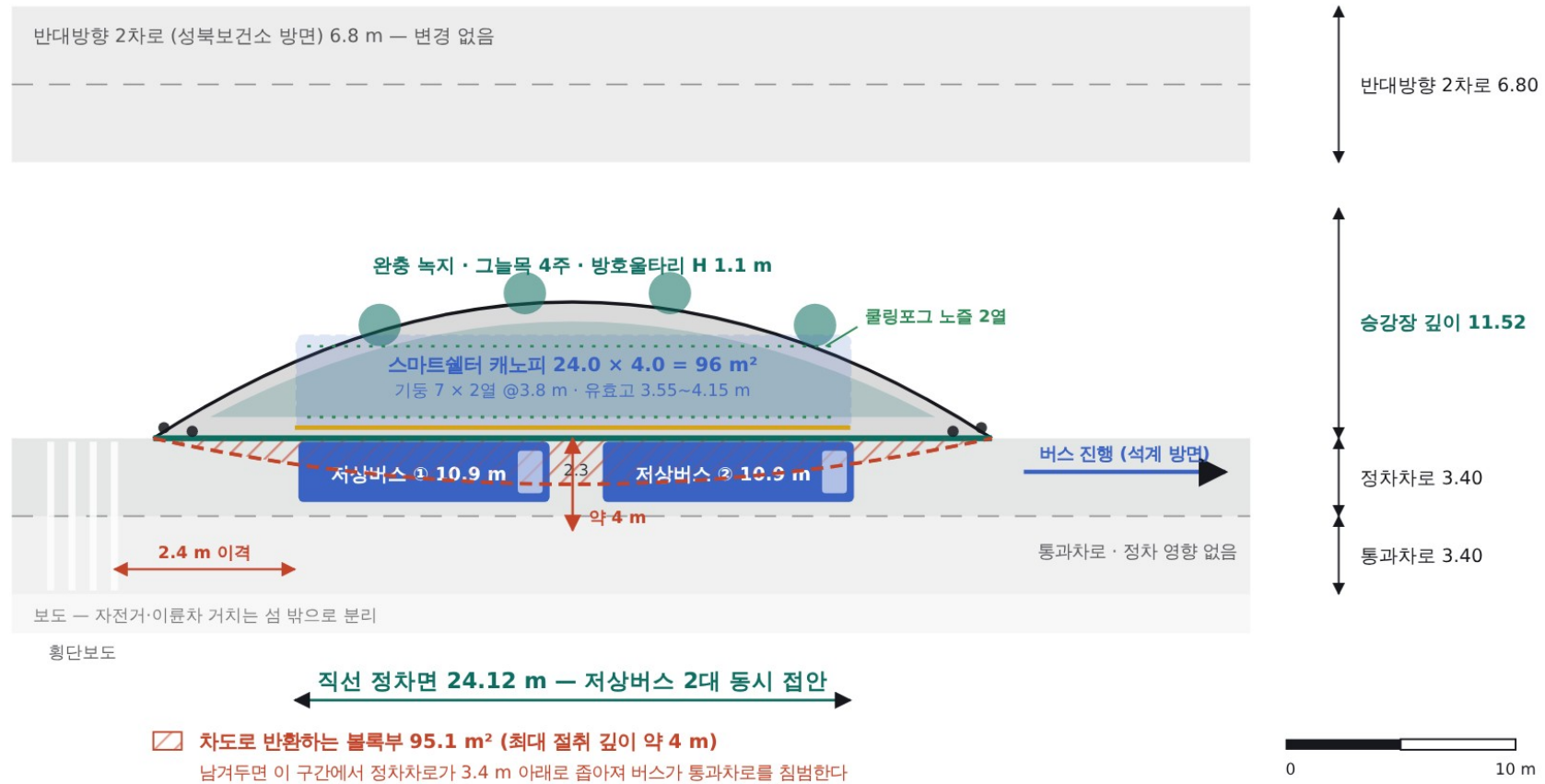
근거	내용
① 현장 관측	영상 4 편에서 전면 점유·차도 승하차·골목 합류·보도 점유가 각각 확인됐다(18:38~18:55). 설계 항목이 관측 건별로 대응한다.
② 실측	교통섬 부지 17.0 / 48.0 / 34.0 m — 승강장 부지가 도로 밖에 이미 존재한다. 도로 6.8 m 는 건드리지 않는다.
③ 시뮬레이션	승객 옆 통과 -186.9 회/시(95 % CI [-195.8, -178.5]), 차량 지체 -0.67 초.
④ 기하 계산	$\delta = L^2 \div 8R = 10.9^2 \div (8 \times 16.77) = 0.89 \text{ m}$. 곡선 연석에 버스가 서면 차체 중앙이 0.89 m 벌어져 휠체어 경사판 전개가 불가능하고 승객 발빠짐이 생긴다. 직선화하면 0.05 m 이하로 밀착한다.
⑤ 문헌·선례	TCRP Report 19(정류장 형태별 안전 특성), TCQSM 3rd(정차시간), 도로용량편람(용량·지체), 서울시 스마트쉼터·폭염저감시설(쿨링포그) 운영 선례.

기각됐던 안이 되살아나는 지점

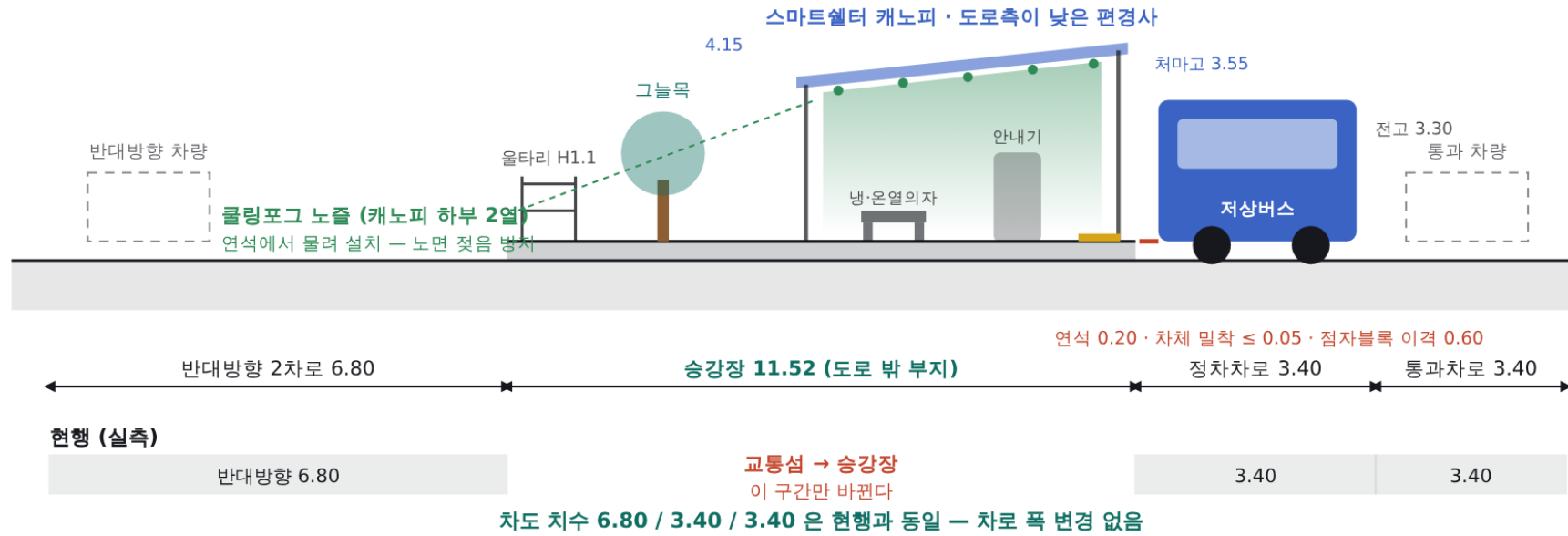
앞선 검토에서 교통섬안은 「차도폭 8.4 m 필요, 실측 6.8 m → 1.6 m 부족」으로 기각됐다. 그것은 **가로변에 새로 교통섬을 끼워 넣는 안**이었다.

그러나 **이미 있는 교통섬 부지를 쓰면 차도에서 폭을 빼앗을 필요가 없다**. 오히려 볼록부를 잘라 차도에 95.1 m² 를 돌려준다.

5.3 도면 (가로 배치)



도면 01 · 승강장 배치도. 붉은 파선은 실측치로 복원한 조정 전 부지 경계, 붉은 빗금은 차도로 반환하는 블록부 95.1 m^2 다. 이 블록부를 남겨두면 정차차로가 3.4 m 아래로 좁아져 버스가 통과차로를 침범한다.

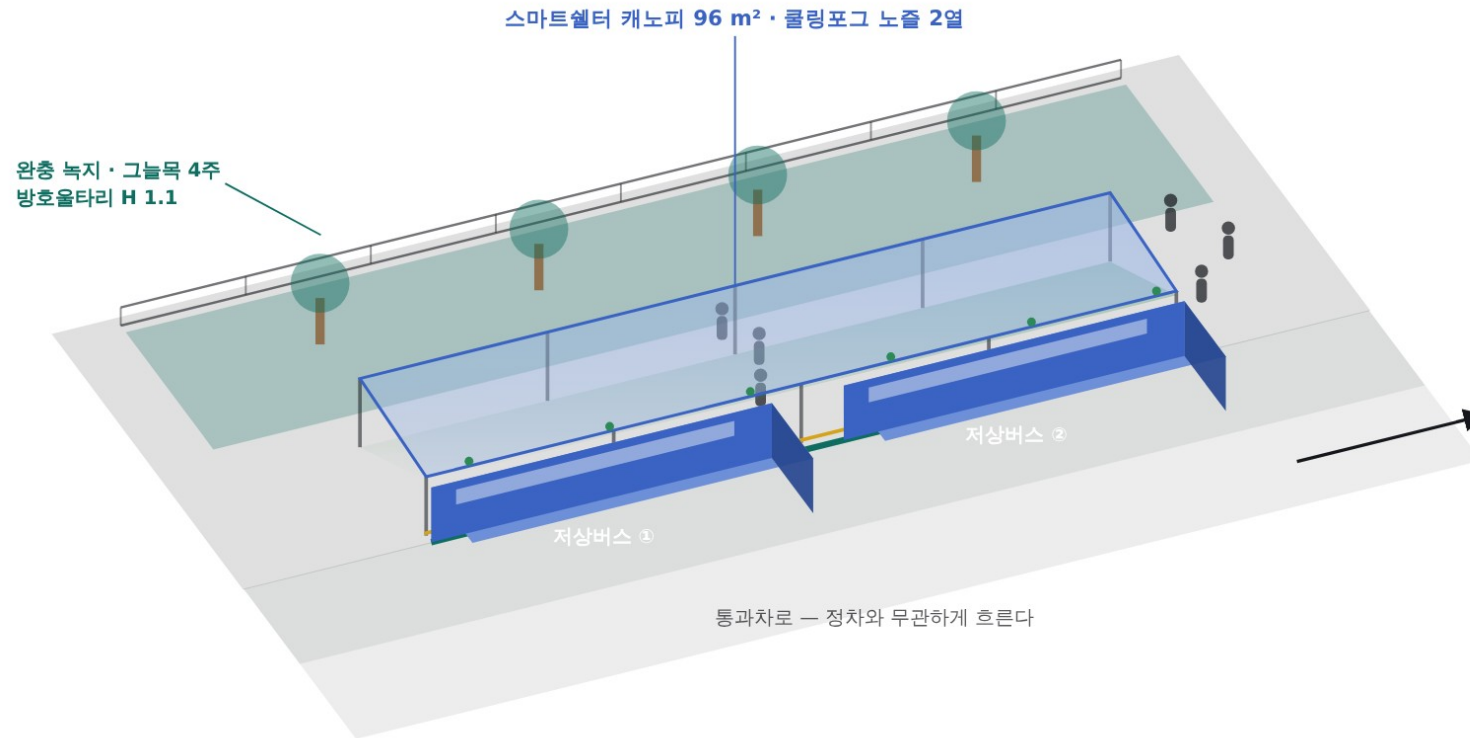


도면 02 · 횡단면 A-A. 아래 띠가 현행 실측 치수, 위가 제안이다. 차도에 해당하는 세 치수(6.80 · 3.40 · 3.40)가 완전히 같다 — 바뀌는 것은 도로 밖 교통섬 부지 11.52 m 구간뿐이다.

승객이 차도를 밟는 구간 = 0 m

대기·승하차 전 과정이 연석 위에서 끝난다. 후면 방호울타리로 차도 진입 동선을 물리적으로 차단.

캐노피 96 m² · 그늘목 4주 · 쿨링포그 2열 — 폭염 시 대기 공간 대부분에 그늘과 냉각.



도면 03 · 조감 전망도. 앞쪽부터 완충 녹지와 방호울타리, 캐노피가 덮은 대기공간, 정차면에 붙은 저상버스 2 대, 그 바깥의 통과차로 순이다. 승객이 차도를 밟는 구간은 0 m 다.

5.4 스마트 정류장과 폭염 대응

관측일 서울에는 폭염경보가 발효 중이었다(현장 VMS, 18:46). 그늘 없는 가로변 정류장에서 2 분 넘게 서 있어야 하는 조건은 그 자체로 불편이자 무단횡단의 유인이다. 승강장을 새로 만드는 김에 대기 자체를 쾌적하게 만든다.

설비	사양(안)	목적 · 비고
캐노피	24.0 × 4.0 m	그늘 96 m ² · 우천 대피. 도로측이 낮은 편경사, 처마고 3.55 m(버스 전고 3.30 m 위)
쿨링포그	노즐 2 열 · 24 m	분무 냉각. 온·습도 센서 연동으로 일정 온도 이상에서만 작동
그늘막 · 벤치	4 주 / 3 개소	서측 완충 녹지. 냉·온열의자로 온열 취약자 착석 대기 지원
실시간 도착 안내	2 개소	후면 열(연석에서 5.6 m) 배치 — 운전자·보행자 시야를 막지 않음
조명	평균 100 lx 이상	캐노피 하부 LED 라인 + 가로등 2 주
CCTV · 비상벨	각 1 개소	섬식 승강장은 보도와 떨어져 있어 필수
점자블록 · 안전선	이격 0.60 / 0.85 m	선형 + 승차문 점형, 황색 승차대기 안전선

쿨링포그를 넣기 전에 확인해야 할 다섯 가지

- ① 수질 관리 — 정체수에서 세균이 번식할 수 있어 배관 잔류수 배출과 정기 소독 체계가 필요하다.
- ② 동절기 동파 — 배관 퇴수 설계와 비운전 기간 관리 방안.
- ③ 인입 — 상수·전기 인입 경로. 교통섬은 도로 한가운데라 인입이 까다롭다.
- ④ 노면 젖음 — 분무가 연석·점자블록을 적으면 미끄럼 위험이 생긴다. 분무 범위를 연석에서 물려야 한다.
- ⑤ 관리 주체 — 자치구·서울시·운수업체 중 누가 운영·점검하는가.

이 다섯 가지에 답이 없으면 쿨링포그는 넣지 않는 편이 낫다. 캐노피와 그늘막만으로도 그늘 96 m² 는 확보된다.

5.5 교통영향 검토

항목	결과	산출 근거
정차 용량	약 135 대/시	정차면 2 대 × 점유 40 초(정차 30 + 진출입 10) = 이론 180 대/시. 도착 불균등 효율 75 % 적용. 모형의 정차 버스 30 대/시를 크게 웃돈다
대기열 영향	없음	세 번째 버스는 정차차로 상류에서 대기한다. 정차차로가 통과차로와 분리돼 있어 대기열이 길어져도 일반 차량 통행을 막지 않는다
차량 지체	-0.67 초	현행 55.7 초 → 55.0 초 (95 % CI [-0.95, -0.42])
버스 지체	+6.39 초	현행 69.3 초 → 75.7 초 (95 % CI [+5.49, +7.30]) — 이 안이 지불하는 비용

안전 설계 요소 — 관측 건별 대응

관측	대응 설계	내용
v6 · 18:47:48 횡단보도 점유	침범 정차 차단	정차구간을 남단 횡단보도에서 2.4 m 이격하고 섬 남·북단에 볼라드 설치
v7 · 18:55:22 차도 승하차	차도 보행 차단	승강장 후면 전 구간에 방호울타리 H 1.1 m. 개구부는 남·북단 횡단부에만
v1·v2 · 18:38·18:41 보도 밀집	보도 점유 분리	자전거·이륜차 거처를 섬 밖 양측 보도로 분리. 대기 유효폭 확보

관측	대응 설계	내용
시야 차단	시야 확보	캐노피 하부 1.0~2.0 m 구간은 비움. 광고·안내기는 후면 열(연석에서 5.6 m)에 배치

6. 한계와 다음 단계

이 제안이 아직 답하지 못한 것들이다. 영향이 큰 순서로 적는다.

미확인 항목	영향	확인 방법 · 파급
교통섬과 정류장(43·44)의 거리	큼	통합의 유일한 비용인 「승객 접근 거리 증가」의 크기를 결정한다. 모형은 두 정류장의 중간 지점을 가정해 최대 97 m로 계산했으나, 교통섬의 실제 위치가 중간이 아니면 이 값이 달라진다. 줄자 실측 1 회로 해결된다
교통섬 진입·진출 우회시간	큼	모형의 6.0 초(DIVERT_PEN)는 가정값이다. 이 값이 교통섬안의 버스 지체 불이익의 전부를 만든다(4.4). 제안 설계는 정차차로를 직선·등쪽으로 만들어 우회를 없애는 것이 전제이며, 실시설계 후 현장 검증이 필요하다
차량 직진 녹색시간	큼	실측 20 초·120 초는 보행 신호로 보고 있다. 현재 66 초로 보정 중이며, 확정 전까지 대안 간 순서는 참고하되 절대값은 잠정치로 다뤄야 한다
보도 폭	중	미측정. 만입형 대안(B)은 보도 폭 3.0 m 확보가 전제다
하부 유선변 (섬 남단 곡선)	중	미측정. 형상 최적화로 3.30 m 산출. 정차면 배치에는 영향 없음
종단경사 · 배수 · 지장물	중	맨홀·전주·지하매설물 미반영. 실시설계에서 캐노피 기둥 위치가 바뀔 수 있다
정차 버스 대수 (30 대/시)	작음	배차표 미확보 추정치. 용량 135 대/시에 비해 여유가 커서 결론은 바뀌지 않는다
수요 (동시 대기 130 명)	작음	면적 기준 수용력이지만 실제 수요가 아니다. 승하차 실사로 캐노피 길이 재산정

다음 단계 — 우선순위

- **1 순위. 교통섬 ↔ 정류장(43·44) 거리 실측** — 통합의 유일한 비용(접근 거리 증가)의 크기를 확정한다. 줄자 1 회.
- **2 순위. 차량 직진 녹색시간 직접 측정** — 대안 간 순서는 이미 확인됐으나, 절대값을 확정하려면 필요하다.
- **3 순위. 교통섬 진입부 기하 설계 및 우회시간 검증** — 정차차로가 직선·등쪽으로 확보되는지 확인한다. 버스 지체 결론이 여기 달려 있다.
- **4 순위. 보도 폭 실측 및 지장물 조사** — 실시설계 진입 조건.
- **5 순위. 쿨링포그 유지관리 체계 협의** — 수질·동파·인입·관리 주체가 정리되지 않으면 설비에서 제외한다.

결론

두 정류장을 폐지하고 교통섬에 통합 정류장 1 개소를 두는 안은, 검토한 7 개 대안 가운데 **네 지표가 모두 개선되는 유일한 대안이다** (승객 노출 -187.2, 보행 상충 -6.9, 차량 지체 -0.80 초, 버스 지체 -1.82 초 · 네 신뢰구간 모두 0 을 제외).

교통섬 부지를 쓰므로 **차로 폭을 전혀 바꾸지 않는다**. 캐노피 96 m² 와 쿨링포그로 폭염기 대기 환경도 함께 개선된다.

남은 비용은 두 가지다. ① **승객 접근 거리 최대 97 m 증가** — 통합의 본질적 대가다. ② **교통섬과 현 정류장 사이의 실제 거리가 미실측** — 이 값이 나와야 ①의 크기가 확정된다. 이 한 가지 측정이 다음 결정의 전제다.

7. 이번 개정에서 바뀐 것

초판(2026-08-31 1 차) 대비 변경 사항이다. 결론이 바뀐 항목을 먼저 적는다.

위치	바뀐 내용	이유
4.3 · 4.4 · 5 장 · 결론	권고안을 「교통섬 승강장(F1)」에서 「두 정류장 폐지 + 교통섬 통합 정류장(C/F1)」으로 정정	대안 6 개 전체의 쌍체 차이를 다시 계산한 결과, 네 지표가 모두 개선되는 대안은 통합안 하나뿐임을 확인. 초판은 F1 만 표로 제시해 이 사실이 드러나지 않았다
4.3	표를 F1 하나에서 대안 6 개 × 지표 4 개 전체로 확대	「어느 시뮬레이션의 결과인가」가 표에서 바로 읽히도록. 모두 같은 100 회 실행에서 나온 값이다
4.4 (신설)	C(만입형)와 F1(교통섬형)의 직접 비교, 버스 지체 8.2 초의 출처 추적	두 형태의 차이가 가정 파라미터 두 개(우회 6.0 초·재진입 4.5 초)에서만 나온다는 것을 재실행으로 확인. 두 값을 만입형과 같게 두면 결과가 완전히 일치했다
2.3 (신설)	쌍체 부트스트랩의 4 단계 절차와 읽는 법	방법론 용어를 설명 없이 쓴 것을 보완
1.1 · 1.2 (신설)	프로젝트 제안 배경 및 지향성·목표	제안자가 작성한 배경·목표를 본문에 정식 편입
6 장	「교통섬 우회시간」을 미확인 항목에 추가, 우선순위 5 단계로 재편	4.4 의 확인 결과 이 값이 버스 지체 결론을 좌우함이 드러났다
전체	표 정렬·단위 표기 통일, 그림·도면이 페이지에서 잘리지 않도록 배치 고정	가독성

바뀌지 않은 것

현장 관측·실측값(6.8 m · 140 초 · 194 m · 교통섬 17.0/48.0/34.0 m), 기하 계산($\delta = 0.89$ m), 도면 3 장의 치수, 스마트 설비 사양은 초판과 같다.

시뮬레이션 원자료도 같은 실행(대안별 100 회)이다. 바뀐 것은 그 자료를 어디까지 표로 보여주는가와, 거기서 무엇을 읽어내는가다.

부록 · 자료 출처

기관	자료	기준	사용처
서울 열린데이터광장	버스노선별 정류장별 시간대별 승하차 인원	2026-07 월평균	정류장별 이용 · 승객 도착률
서울 열린데이터광장	지하철 호선별 역별 시간대별 승하차 인원	2026-07	월곡역 연계 수요
서울시 교통량조사	지점 RO001A022 (화랑로) 24 시간 방향별	2010-10-28	본선 교통량 · 시간대 계수
TAAS 교통사고분석시스템	지자체별 교통사고 다발지역 (성북구)	2025	사고 이력
공공데이터포털 TAGO	버스정류소 좌표 및 경유노선	2026-08	정류장 식별 · 노선 확인

문헌·기준

문헌	발행	쓰임
국토교통부 「도로용량편람(KHCM)」	2013	포화류율 범위, 신호교차로 지체 산정, 용량 계산
TRB 「TCQSM」 3rd edition	2013	정차시간 구성(문 개폐 + 승·하차 병렬 처리)
TRB 「TCRP Report 19」	1996	정류장 형태별 안전·운영 특성 비교
G. F. Newell, 차량추종 이론	2002	시뮬레이션의 차량 거동 모형

주요 모형 파라미터

기호	값	근거	출처
정류장 간격 (43↔44)	194 m	실측	2026-08-30 재실측
신호 주기 CYCLE	140 초	실측	보행 대기 120 + 보행 녹색 20
차량 유효녹색 GREEN	66 초	보정	$g/C = 0.471$, $V/C = 0.85$ — 직접 측정 필요
저상버스 전장 LBUS	10.9 m	표준	서울시 저상버스 제원
정차 버스 N_BUS	30 대/시	가정	배차표 미확보
포화류율	2,045 vphgpl	문헌	도로용량편람
반복 횟수	100 회	설정	Common Random Numbers

※ 이 보고서의 대안 비교 수치는 시뮬레이션 결과다. 인용 시 시뮬레이션 결과임을 함께 밝히고, 차량 직진 녹색시간이 확정되기 전까지는 대안 간 순서는 참고하되 절대값은 잠정치로 다루기 바란다.