

박사학위논문

보행대기시간 최소화 감응신호
제어전략 연구

2023년

한 성 대 학 교 대 학 원

경 제 부 동 산 학 과

부 동 산 학 전 공

최 봉 수

박 사 학 위 논 문
지도교수 남두희

보행대기시간 최소화 감응신호 제어전략 연구

A Study on Actuated Signal Control Strategy with
Minimized Waiting Time for Crossing

2022년 12월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

경 제 부 동 산 학 과

부 동 산 학 전 공

최 봉 수

박 사 학 위 논 문
지도교수 남두희

보행대기시간 최소화 감응신호 제어전략 연구

A Study on Actuated Signal Control Strategy with
Minimized Waiting Time for Crossing

위 논문을 부동산학 박사학위 논문으로 제출함

2022년 12월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

경 제 부 동 산 학 과

부 동 산 학 전 공

최 봉 수

최봉수의 부동산학 박사학위 논문을 인준함

2022년 12월 일

심사위원장 백 성 준 (인)

심 사 위 원 김 주 현 (인)

심 사 위 원 장 일 준 (인)

심 사 위 원 조 재 우 (인)

심 사 위 원 남 두 희 (인)

국 문 초 록

보행대기시간 최소화 감응신호 제어전략 연구

한 성 대 학 교 대 학 원
경 제 부 동 산 학 과
부 동 산 학 전 공
최 봉 수

본 연구의 핵심은 차량위주의 신호운영인 감응신호 구간에서 보행대기 시간 최소화를 위한 보행자우선 감응신호 알고리즘의 효과를 분석하여 보행 친화적인 감응신호 제어 전략을 도출하는 것이다.

자동차는 교통의 일대 혁명을 이룬 당사자임을 그 누구도 부인할 수 없다. 따라서 도로교통에서 자동차는 늘 그 중심에 있었고 도로교통체증의 문제를 해결하기 위한 노력에는 늘 차량이 우선시 되어왔다. 이러한 교통정책의 기조로 인하여 도로에서 자동차는 보행자보다도 늘 통행의 우선권을 부여받았고 상대적으로 보행자의 편의나 배려는 미흡했다.

또한 자동차는 인간에게 없어서는 안 될 교통수단이나 운전자의 부주의로 인한 사고 발생 시 인적, 물적 피해를 주기도 하며 도로확장에 한계가 있기 때문에 늘 교통체증을 불러일으키고 이로 인한 교통체증은 날로 심각해지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 차량 소통개선 정책은 늘 보행자보다 우선시 되었고

도로상의 교통약자인 보행자에 대한 관심소홀로 이어져 보행자의 불편은 가중되고 있다. 다행인 것은 최근의 세계적인 교통정책의 추세는 차량의 원활한 흐름뿐만 아니라 보행자의 흐름과 안전성을 더 우선시하는 정책으로 교통정책의 패러다임이 변화하고 있다.

하지만 아직까지도 대부분의 교통신호는 차량 중심으로 설계되어 있어 보행자 대기시간을 고려한 보행자 중심의 설계 개념은 활발하게 적용되지 못하고 있다.

차량의 주도로 통행속도 개선을 위한 국도감응신호 구축사업은 매년 전국적으로 확대 설치되고 있다. 그러나 이는 보행자보다는 주도로 차량 지체를 감소하는 데 초점이 맞추어져 있다. 특히 보행자는 보행자작동신호기 버튼을 눌러야만 보행 신호를 받을 수 있고 최근에 도입되는 레이더에 의해 보행자 감지 또한 보행자가 감지구역 내에 존재해야만 보행신호를 받을 수 있다.

또한 대부분의 국도 구간은 연동 제어를 적용하고 있어 보행감지가 되더라도 감지된 시점이 보행신호 이전 현시인 경우 해당 보행현시 때 신호를 받을 수 있지만 보행현시나 그 다음 현시에 감지되면 다음 주기 보행현시에 보행 신호가 나오기 때문에 보행 신호를 받기 위한 보행대기시간은 더 늘어날 수 있기 때문에 이는 보행자의 불편 또는 스트레스를 야기하고 보행자는 교통신호를 무시하고 무단횡단을 함으로써 교통사고 위험에 노출되어 있다. 따라서 보행자의 대기시간을 줄이는 것은 보행자의 안전뿐만 아니라 보행자의 전반적인 서비스 수준을 위해서도 매우 중요하다.

기존의 국도감응신호의 타당성 및 효과에 대한 연구는 주로 차량의 통행속도 개선에 초점이 맞추어져 있었고 교통약자인 보행자의 편의, 보행자가 느끼는 불편 및 스트레스를 감소시키기 위한 보행친화적인 감응신호 알고리즘에 대한 연구는 활발하지 못했다.

본 연구에서는 이천시 서이천로 감응신호구간의 6개 교차로를 선정하여 감응신호 적용 전·후 보행대기시간을 조사하였고 좌회전감응신호 적용 후 보행 대기시간에 대한 만족도 설문조사를 통해 보행자가 보행대기시간으로 인하여 스트레스를 받고 있는지 분석하였다. 평균 보행대기시간은 감응신호 적용 후에 오전 첨두 11%, 비첨두 37%, 오후 첨두 47%가 증가하였다. 설문조사 결

과에서는 응답자의 62.1%가 보행자작동신호기 설치 후에 보행대기시간이 길어졌다고 응답했고 그 중 78%는 이로 인하여 스트레스를 받는 것으로 분석되었다.

따라서 이를 개선하기 위해 차량 지체를 최소화하는 범위 내에서 보행자 편의가 반영된 보행친화적인 보행자우선 감응신호 알고리즘을 통해 제어 전략을 제시하였고 미시적 결정모델인 VISSIM을 이용한 모의실험을 통해 MOE(지체시간, 평균통행속도 등)효과 및 보행대기시간 등을 비교·분석하였다. 보행자우선 감응신호 알고리즘 분석 결과 구간 평균 차량 지체시간은 0.2초(1.2%) 감소하였고, 구간 평균통행속도는 0.32km/h(0.86%) 감소되었으며, 구간 평균 통행시간은 2.29초(0.12%) 감소하였다. 반면에 4개 교차로 평균 보행대기시간은 34.43초가 감소하여 41.66%가 대폭 개선되었다.

감응신호에 대한 기존 연구들은 보행자 측면을 고려하여 보행대기시간을 줄이기 위한 연구가 미흡했던 반면에 본 연구는 차량위주의 감응신호 구간에서 보행자를 우선하는 보행자 관점에서 시뮬레이션 분석을 통해 정량적인 평가결과를 도출함으로써 보행대기시간을 최소화하기 위한 감응신호 제어전략을 제시하였다는데 의의가 있다. 또한 분석 대상지와 유사한 도로 기하구조, 차량교통량과 및 보행자교통량을 갖고 있는 교차로 또는 연동구간에는 본 연구 결과의 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 보행자우선 감응신호운영 방안을 활용할 경우 보행자의 보행대기시간을 줄임으로써 보행자의 스트레스를 완화하는 데 도움이 될 것으로 판단되며 보행자의 안전성, 편의성 및 통행성을 제고할 수 있을 것으로 기대된다. 아울러 향후 좌회전감응신호 구축사업시 보행친화적인 감응신호운영의 대안으로 활용될 수 있기를 기대한다.

마지막으로 본 연구가 제시하는 결과는 비록 연구의 몇 가지 한계점에도 불구하고 감응신호 구간에서 차량 중심의 가치보다 보행자 대기시간 최소화의 가치를 더 우위에 둘 경우 감응신호 구간에서 적용할 수 것으로 사료된다.

【주요어】 좌회전감응신호, 보행대기시간, 보행자스트레스, 보행자작동신호기, 보행자우선 감응신호

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 배경 및 목적	1
제 2 절 연구의 방법 및 구성	3
제 2 장 이론적 배경 및 선행연구 고찰	6
제 1 절 감응제어시스템	6
1. 감응제어시스템 개론	6
2. 감응제어기법의 종류	6
3. 감응제어 신호운영 변수	12
4. 보행자작동신호제어	14
5. 국내·외 감응신호제어시스템 운영 사례	17
제 2 절 선행연구 고찰	21
1. 보행대기시간 심리	21
2. 보행대기시간과 교통위반 및 교통안전	24
3. 횡단보도 보행대기시간	28
4. 보행자작동신호기 설치 기준 및 효과	31
5. 감응신호 운영 효과	35
제 3 절 선행연구와의 차별성	37
제 3 장 감응신호운영 현황 및 문제점	38
제 1 절 연구 대상지 현황	38
1. 연구 대상지 선정	38
2. 연구 대상지 일반 현황	44
3. 감응신호 구축 현황	47
제 2 절 횡단보행자수 및 보행대기시간	57
1. 조사 방법 및 내용	57
2. 결과 분석	57

제 3 절 좌회전감응신호 적용 후 횡단보도 대기시간 만족도	59
1. 설문조사 방법 및 내용	59
2. 설문조사 결과 분석	59
제 4 장 보행자우선 감응신호 제어전략	67
제 1 절 신호 운영 개념 및 전략	67
1. 보행자 감응신호 개념	67
2. 보행자우선 감응신호 개념 및 전략	68
제 2 절 보행자우선 감응신호 운영 알고리즘	70
1. 신호 운영 변수	72
2. 보행감응신호 운영 알고리즘	74
3. 보행자우선 감응신호 운영 알고리즘	76
제 5 장 보행자우선 감응신호 제어전략 평가	80
제 1 절 분석도구	80
제 2 절 분석지표	80
제 3 절 분석 대상지	81
1. 독립교차로 분석 대상지	81
2. 연동구간 분석 대상지	82
3. 분석 대상 교차로 신호운영 현황	83
제 4 절 분석 시나리오	87
제 5 절 분석 네트워크 구축	89
1. 현황	89
2. 보행자우선 감응신호	90
3. 분석환경 구축	90
제 6 절 시뮬레이션 분석	94
1. 독립교차로 분석	94
2. 연동구간 분석	96
3. 연동구간 차량 통행속도의 통계적 분석	101

제 6 장 결론	103
제 1 절 연구결과 요약	103
제 2 절 연구의 의의 및 한계	105
1. 연구의 의의	105
2. 연구의 한계 및 향후 과제	106
참 고 문 헌	108
부 록	117
ABSTRACT	127

표 목 차

[표 2-1] 외국 지방부의 주요 신호제어 방식	20
[표 2-2] 보행자 대기시간 심리	23
[표 2-3] 보행대기시간과 교통위반 및 교통안전	27
[표 2-4] 횡단보도 보행대기시간	30
[표 2-5] 보행자작동신호기 설치 기준 및 효과	34
[표 2-6] 감응신호운영 효과	36
[표 3-1] 국내 감응신호 운영 사례	40
[표 3-2] 국도 감응신호시스템 구축 현황	41
[표 3-3] 이륜차 검지기	42
[표 3-4] 보행자작동신호기, 도로표지판 및 교통노면표지 디자인	42
[표 3-5] 연구 대상지	43
[표 3-6] 서이천로 도로현황	44
[표 3-7] 서비스 수준 분석 결과	46
[표 3-8] 서이천로 감응신호 구축 교차로 현황	47
[표 3-9] 감응신호시스템 검지기 설치기준	50
[표 3-10] 서이천로 감응신호 현시체계 및 신호시간 현황	53
[표 3-11] 감응신호시스템 사전·사후 평가 결과	56
[표 3-12] 횡단보행자 수	58
[표 3-13] 보행 평균대기시간 분석 결과	58
[표 3-14] 보행자감응신호 운영방식의 편리성 여부	60
[표 3-15] 보행자감응신호 운영이 불편한 이유	61
[표 3-16] 보행자버튼 설치 전보다 횡단보도 대기시간이 길어졌는지 여부	62
[표 3-17] 보행대기시간이 길어져 스트레스를 받은 적이 있는지 여부	63
[표 3-18] 스트레스를 받지 않고 기다릴 수 있는 최대시간	64
[표 4-1] 보행자 감응신호 개념	67
[표 4-2] Case별 보행자우선 감응신호 개념	69
[표 5-1] 보행자우선 감응신호 독립교차로 분석 대상 후보지 조건	81
[표 5-2] 수남삼거리 신호 운영 현황	83

[표 5-3] 고척사거리 신호 운영 현황	84
[표 5-4] 도예고사거리 신호 운영 현황	85
[표 5-5] 서이천삼거리 신호 운영 현황	86
[표 5-6] 도예고사거리 차량 평균 지체시간	94
[표 5-7] 도예고사거리 통행속도	94
[표 5-8] 도예고사거리 통행시간	95
[표 5-9] 도예고사거리 보행 평균대기시간	95
[표 5-10] 교차로 차량 평균지체시간	96
[표 5-11] 구간 평균통행속도	97
[표 5-12] 구간 평균통행시간	97
[표 5-13] 교차로별 보행 평균대기시간	98
[표 5-14] 교차로별 보행 평균대기시간(1현시 다음 3현시 표출 시)	100
[표 5-15] 차량 평균통행속도 차이의 통계적 유의성 분석을 위한 가설 설정	101
[표 5-16] 차량 평균통행속도 차이의 통계분석 결과	101

그 립 목 차

[그림 1-1] 연구의 수행절차	5
[그림 2-1] 완전감응 신호제어 알고리즘	7
[그림 2-2] 반감응 신호제어 알고리즘	9
[그림 2-3] 교통량-밀도 신호제어 알고리즘	10
[그림 2-4] 감응신호제어 개념	13
[그림 2-5] 단일로 보행자 감응제어 개념	15
[그림 2-6] 교차로신호 보행자 감응제어 개념도	15
[그림 2-7] 국도 반감응신호제어시스템 구성도	16
[그림 3-1] 연구 대상지 위치도	43
[그림 3-2] 서이천로 도로현황	44
[그림 3-3] 교통량 현황도(오전첨두 08:00~09:00, pcu/h)	45
[그림 3-4] 교통량 현황도(오후첨두 17:30~19:30, pcu/h)	45
[그림 3-5] 교통량 현황도(비첨두 12:00~13:00, pcu/h)	46
[그림 3-6] 서이천로 감응신호 구축 교차로 위치도	48
[그림 3-7] 감응제어 방법	49
[그림 3-8] 보행자작동신호기 디자인	51
[그림 3-9] 보행자작동신호기 동작순서	52
[그림 3-10] 감응신호시스템 사전·사후 평가결과	56
[그림 3-11] 보행자감응신호 운영방식의 편리성 여부	60
[그림 3-12] 보행자감응신호 운영이 불편한 이유	61
[그림 3-13] 보행자버튼 설치 전보다 횡단보도 대기시간이 길어졌는지 여부	62
[그림 3-14] 횡단보도 대기시간이 길어져 스트레스를 받은 적이 있는지 여부	63
[그림 3-15] 스트레스를 받지 않고 기다릴 수 있는 최대시간	64
[그림 4-1] 보행자 감응신호 개념도	68
[그림 4-2] Case별 보행자우선 감응신호 개념도	69
[그림 4-3] 보행감응신호 운영 개념도	74
[그림 4-4] 보행감응신호 알고리즘	76
[그림 4-5] 보행자우선 감응신호 운영 개념도	77

[그림 4-6] 개선 보행자우선 감응신호 알고리즘	79
[그림 5-1] 연동구간 분석 대상지 구간	82
[그림 5-2] 보행감응신호 시나리오 1(현황) 개념도	88
[그림 5-3] 보행자우선 감응신호 시나리오 2(개선) 개념도	88
[그림 5-4] 4개 구간 VISSIM 네트워크 기하구조	91
[그림 5-5] 수남삼거리 VISSIM 네트워크 기하구조	91
[그림 5-6] 고척사거리 VISSIM 네트워크 기하구조	92
[그림 5-7] 도예고사거리 VISSIM 네트워크 기하구조	92
[그림 5-8] 서이천사거리 VISSIM 네트워크 기하구조	93
[그림 5-9] 도예고사거리(독립) 보행 평균대기시간 데이터 분포도	96
[그림 5-10] 수남삼거리 보행 평균대기시간 데이터 분포도	98
[그림 5-11] 고척사거리 보행 평균대기시간 데이터 분포도	99
[그림 5-12] 도예고사거리 보행 평균대기시간 데이터 분포도	99

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경 및 목적

자동차는 1885년 독일의 Karl Friedrich Benz¹⁾가 내연기관으로 구동되는 세계 최초의 실용적인 자동차를 설계·제작한 이후 최초의 휘발유 자동차를 만든 Charles Duryea²⁾와 자동차의 첫 대량 생산을 시작한 Henry Ford³⁾를 거치면서 눈부신 발전을 이룩했다. 또한 자동차는 교통의 일대 혁명을 이룬 당사자임을 그 누구도 부인할 수 없다. 따라서 도로교통에서 자동차는 늘 그 중심에 있었고 도로 교통체증의 문제를 해결하기 위한 노력에는 늘 차량이 우선시 되어왔다. 이러한 교통정책의 기조로 인하여 도로에서 자동차는 보행자보다도 늘 통행의 우선권을 부여받았고 상대적으로 보행자의 편의나 배려는 미흡했다.

또한 자동차는 이동성, 안락성 등을 제공하여 편의성을 증진시키기도 하지만, 교통사고 등으로 개인의 생명과 재산에 손실을 주기도 하며 한정된 도로시설에 반하여 급증하는 자동차는 도로 혼잡 및 정체를 유발하고, 심각한 도시교통문제를 야기시킴에 따라 차량 중심의 정책과 대안을 모색할 수밖에 없게 되었고 이는 도로상의 교통약자인 보행자에 대한 관심소홀 등으로 인하여 보행자 서비스 수준은 한층 더 악화되고 있다(장덕명 외, 1998).

다행인 것은 최근의 세계적인 교통정책의 추세는 차량의 원활한 흐름뿐만 아니라 보행자의 흐름과 안전성을 더 우선시하는 정책으로 교통정책의 패러다임이 변화하고 있다. 2018년 호주 멜버른시는 보행 친화적 도심 교통체계 관련 시민의견을 수렴한 바 있는데 보행을 도심교통의 최우선 순위에 두는 새로운 교통전략을 수립하기 위함이었다. 보행 우선권을 확보하고 교차로 보행 대기시간을 단축하고, 더 많은 횡단기회를 제공하는 정책을 마련하고자 함이다. 결과적으로 자동차의 대기시간이 그만큼 증가할 수는 있으나 현재 자동차에 주어지는 교차로 통

1) 독일의 기술자이자 기업가이며 독일 자동차 회사 메르세데스 벤츠사의 설립자이다.

2) 미국의 자동차 엔지니어이며 1893년 미국 자동차 회사 듀리에사의 설립자이다.

3) 자동차 왕으로 불리는 미국의 자동차 회사 ‘포드’사의 설립자이다.

행시간은 보행자의 2배 정도를 감안할 때 자동차 중심에서 보행자 중심으로 전환하려는 기조를 읽을 수 있다(서울시 세계도시동향, 2018).

우리나라의 경우도 현재 ‘교통안전 5030’⁴⁾ 정책을 시행하고 있다. ‘속도를 줄이면 사람이 보입니다’라는 슬로건처럼, 안전속도 5030의 의미는 단지 속도에 대한 규제를 강화한 것에 그치지 않고 어린이 등 교통약자 보호구역, 30 생활도로구역 등 특정 구역을 중심으로 적용되던 속도관리의 대상을 도시 전역으로 확대함으로써 자동차보다 사람이, 속도보다 안전이 중요하다는 대의적 원칙이 실질적인 제도 변화에 반영된 것이며 이러한 변화는 적어도 조금 더 빨리 가기 위해 누군가의 안전을 희생해서는 안 되고, 안전을 위해 속도를 늦출 수 있다는 점에 대해서는 이제 우리 사회가 일정 수준의 합의점에 도달했음을 시사한다(auri brief, 2022).

2013년 수원시와 경기지방경찰청은 보행대기시간을 줄이기 위해 ‘더블사이클’ 기법을 시범운영한 바 있다. 교차로 신호주기 1회당 교차로에 인접한 단일 횡단보도 주기를 2회 운영해 보행대기시간을 줄이고 차량신호 연동을 최대로 보할 수 있는 기법이며 이는 획일적인 교통 신호 운영을 벗어나 교차로 특성을 고려한 현장 맞춤형 운영방안을 점진적으로 확대해 사람이 우선인 교통체계를 정착시키기 위한 정책의 일환이다(시사타임, 2013).

하지만 아직까지도 대부분의 교통신호는 차량 중심으로 설계되어 있어 보행자 대기시간을 고려한 보행자 중심의 설계 개념은 활발하게 적용되지 못하고 있다.

차량의 주도로 통행속도 개선을 위한 국도감응신호 구축사업은 매년 전국적으로 확대 설치되고 있다. 그러나 이는 보행자보다는 주도로 차량 지체 감소에 초점이 맞추어져 있다. 특히 보행자는 보행자작동신호기(Push-button) 버튼을 눌러야만 보행 신호를 받을 수 있고 최근에 도입되는 레이더에 의해 보행자 감지 또한 보행자가 감지구역 내에 존재해야만 보행신호를 받을 수가 있다. 또한 대부분의 국도 구간은 연동 제어를 적용하고 있어 보행감지가 되더라도 감지된 시점이 보행신호 이전 현시인 경우 해당 보행현시 때 신호를 받을 수 있지만 보행현시나 그 다음 현시에 감지되면 다음 주기 보행현시에 보행신호가 나오기 때문에 보행 신호를 받기 위한 보행대기시간은 더 늘어날

4) 안전속도 5030이란 일반도로에서 시속 50km, 보호구역과 주택가 이면도로는 시속 30km로 최고속도를 제한한 제도다. 2021년 4월 17일부터 전국적으로 시행됐다. 기존 차량 중심의 교통문화를 보행자 위주로 전환해 보행자 안전에 우위를 두었다.

수밖에 없다. 이는 보행자의 불편 또는 스트레스를 야기하고 보행자는 교통신호를 무시하고 무단횡단을 함으로써 교통사고 위험에 노출되어 있다. 따라서 보행자의 대기시간을 줄이는 것은 보행자의 안전뿐만 아니라 보행자의 전반적인 서비스 수준을 위해서도 매우 중요하다.

기존의 국도감응신호의 타당성 및 효과에 대한 연구는 주로 차량의 통행속도 개선에 초점이 맞추어져 있었고 교통약자인 보행자의 편의, 보행자가 느끼는 불편 및 스트레스를 감소시키기 위한 보행친화적인 감응신호 알고리즘에 대한 연구는 활발하지 못했다.

따라서 본 연구의 목적은 이천시 서이천로 감응신호구간의 교차로를 선정하여 감응신호 적용 전·후 보행대기시간을 조사하여 이것이 보행자만족도에 미치는 영향을 분석하고 차량 지체를 최소화하는 범위 내에서 보행자 편의가 반영된 보행친화적인 보행자우선 감응신호운영 알고리즘을 제시하고 미시적 결정모델인 VISSIM⁵⁾을 이용한 모의실험을 통해 MOE(지체시간, 평균통행속도 등)효과 및 보행대기시간 등을 비교·분석하고 그 결과를 토대로 향후 좌회전감응신호 구간에서 보행대기시간을 최소화하기 위한 보행자우선 감응신호 제어 전략을 제시하는 데 있다.

제 2 절 연구의 방법 및 구성

본 연구에서는 먼저 감응신호제어시스템의 대한 정의를 파악하고, 기존 감응제어 운영기법인 완전감응제어, 반감응제어, 교통량-밀도(Volume-Density) 제어 전략, 국내외의 감응신호시스템을 알아본다. 그리고 이천시 서이천로(수남삼거리~물류단지교차로)에 위치한 감응신호 연동구간 10개 교차로의 기본 현황 자료는 서이천로 감응신호 구축 사전·사후 평가 용역보고서 자료를 활용

5) VISSIM(Verkehr In Städten-SIMulationsmodel)은 1992년도에 독일 PTV사에서 개발된 미시적(Microscopic) 교통 시뮬레이션 소프트웨어로 1970년대 독일 Karlsruhe 대학에서 초기 개발을 시초로 하고 있다. 도시교통과 대중교통 운영 등을 모형화하기 위해 개발된 Microscopic Simulation 프로그램으로 다양한 연결로 구성, 차로조합, 교통운영, 차량제어 등과 같은 기능이 탑재되어 교통류와 대중교통을 포함한 교통운영 분석이 가능하며, 교통공학과 계획의 효과 측정 등 다양한 대안 평가에 유용하다.

했고 이중 수남삼거리 등 보행자작동신호기가 설치된 6개 교차로를 대상으로 보행자의 횡단보도 보행대기시간과 횡단보도를 이용한 보행자에 대한 보행자 만족도 설문조사 등을 실시한다. 이를 토대로 보행대기시간을 최소화하기 위한 보행자우선 감응신호 운영 전략 및 알고리즘을 제시한다.

또한 조사된 교차로 중 수남삼거리 등 나머지 5개 교차로보다 보행자수가 많아 보행자 관련 데이터 수집이 용이한 도예고사거리를 선정하여 VISSIM을 이용한 독립교차로의 모의실험을 통해 Case별로 평균통행속도, 지체시간, 보행대기시간 등을 비교·분석 한다. 아울러 보행자작동신호기가 설치된 수남삼거리 등 4개 교차로의 연동구간에 대한 VISSIM 모의실험을 통해 시나리오별 평균통행속도, 지체시간, 보행대기시간 등을 비교·분석하였다. 여기서 보행자작동신호기가 설치되어 있는 표교교차로 및 물류단지교차로는 대상구간의 마지막 교차로인 장암사거리에서 2.7km 이상 이격된 교차로로 연속류 성격이 내재되어 있어 대상에서 제외하였다.

연구의 수행절차는 [그림 1-1]과 같다. 연구 수행절차에 의거 본 연구를 구성하고 있는 연구내용은 크게 6개 과정으로 구분한다. 본 논문의 구성은 아래와 같이 진행한다.

먼저, 제1장에서는 본 연구의 배경 및 목적, 연구의 방법을 제시한다.

제2장에서는 감응제어시스템 운영 방법 및 국내·외 선행연구를 검토하고 국내·외 감응신호제어시스템 운영 사례를 살펴본다.

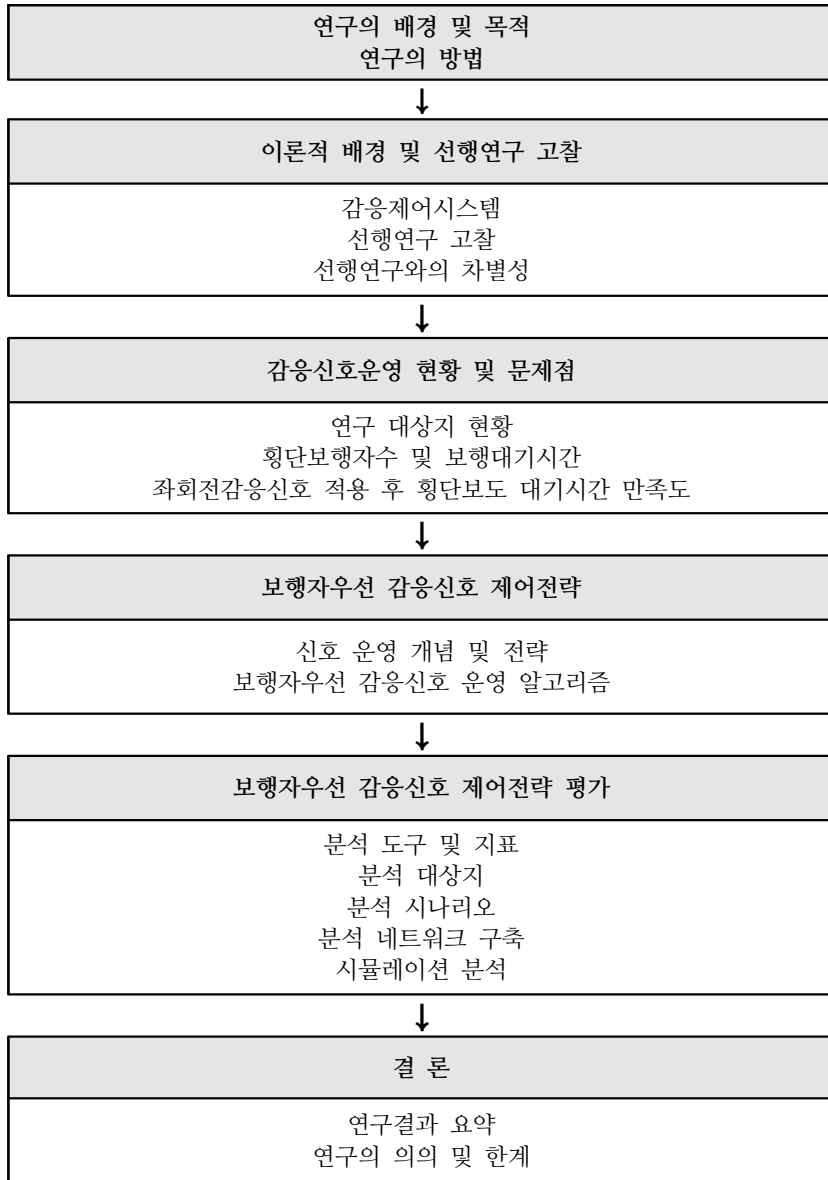
제3장에서는 감응신호운영 현황 및 문제점을 파악하기 위하여 본 연구의 연구 대상지를 선정하고 서이천로 일반 현황(도로 및 교통현황) 및 감응신호시스템 구축 현황을 요약한다. 자료수집 및 분석을 위하여 연구 대상지 교차로에 대한 좌회전 감응신호 적용 전·후 횡단보행자수 및 보행대기시간을 조사 분석하고 설문조사를 통한 좌회전감응신호 적용 후 횡단보도 대기시간 만족도에 대한 결과를 분석한다.

제4장에서는 보행자우선 감응신호 운영 전략 제시를 위해 신호운영 개념 및 전략과 이를 구현할 보행자우선 감응신호 알고리즘을 제시한다.

제5장에서는 제어전략 평가를 위해 분석 도구 및 지표와 분석 시나리오를

설정하여 VISSIM을 이용한 시뮬레이션 분석결과를 도출한다.

제6장에서는 시뮬레이션 효과 분석 결과를 요약하고 보행대기시간 최소화 감응신호 제어전략의 기대효과 및 연구의 한계점 및 향후 연구과제 등을 제시하였다.



[그림 1-1] 연구의 수행절차

제 2 장 이론적 배경 및 선행연구 고찰

제 1 절 감응제어시스템

1. 감응제어시스템 개론

감응제어시스템은 신호교차로에서 부도로의 진출입 차량이나 주도로의 횡단 보행자를 검지하여 꼭 필요한 신호만을 부여하고, 나머지 시간은 항상 주도로에 녹색시간을 부여하는 신호시스템으로 기존의 고정식 제어는 도로에 차량이 없음에도 불구하고, 고정된 신호시간으로 인하여 불필요한 지체가 발생시키며 이러한 상황은 운전자들로 하여금 신호위반 등을 유발하게 되며, 이는 교통사고 등의 심각한 문제를 야기한다(김남선, 2010).

2. 감응제어기법의 종류

감응제어기법에는 완전감응제어, 반감응제어, 교통량-밀도(Volume-Density) 제어 등이 있으며, 세부적인 기능 및 내용은 다음과 같다.

1) 완전감응제어(Full Actuated Control)

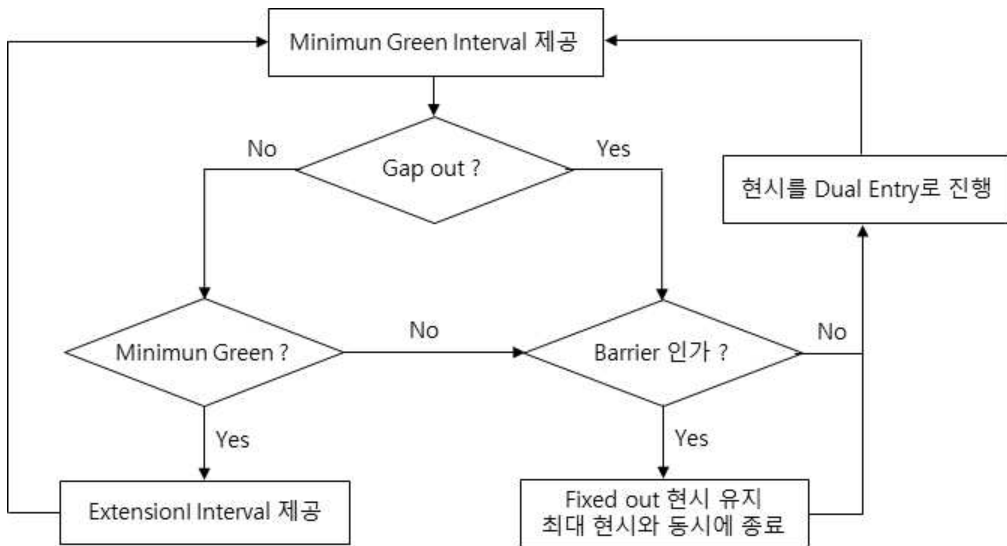
완전감응신호제어는 기본적으로 교통수요가 많은 독립교차로에 주로 사용되지만, 교통량의 패턴을 예측하기 힘든 경우에 전체 네트워크의 적절한 조화를 위하여 사용되는 신호제어방식이며 완전감응 신호제어에서는 교차로의 모든 방향에 검지기가 설치되어 있어 해당 방향의 신호시간이 연장 또는 생략될 수 있으며, 차량이 검지되는 정보에 의하여 각 방향 시간 계수의 변화를 결정한다⁶⁾.

완전감응신호제어의 알고리즘은 [그림 2-1]과 같이 차량의 검지 유무에 따

6) 김남선(경찰청, 치안정책연구소). (2010). 『경찰의 지방부 3지교차로 감응신호 제어 적용에 관한 정책적 연구』

라 Gap-out(현시조기종결)을 결정하여 현시를 진행한다.

- 녹색시간은 Minimum Green이 종료된 후 부가 차량에 따라 단위 연장만큼 확장된다.
- 녹색시간 연장은 지정된 Maximum Limit에 의해 종결된다.
- 황색시간과 All-Red는 각 현시별로 지정된다.



[그림 2-1] 완전감응 신호제어 알고리즘

출처 : 김남선(2010), 경찰의 지방부 3지교차로 감응신호제어적용에 관한 정책적 연구

2) 반감응제어(Semi Actuated Control)

반감응식 신호제어 방식은 교차도로의 성격이 주도로와 부도로로 확연히 구분이 되는 경우에 효과적이며, 상대적으로 교통량이 적은 부도로에서 감응을 실시하고, 이는 주도로의 녹색시간을 최대로 보장하여 주도로 소통 상태를 원활하게하기 위해 제어하는 방식을 말한다⁷⁾. 검지기는 부도로와 주도로의 좌회전 차로에만 설치한다. 따라서 정상 시에는 녹색신호가 주도로방향에 유

7) 이상원(2009), “실시간 신호제어 시스템의 포화도 산정 개선 방안 연구”, 아주대학교 ITS대학원, 석사학위논문

지되다가 부도로 검지기를 통해 차량이 검지되면 녹색 신호가 부도로로 이전되는 방식이다⁸⁾. 반감응식신호제어 방식의 신호 시간은 주현시의 신호 시간을 중심으로 계산되어, 감응 현시의 차량이 존재하지 않는 경우는 주기의 모든 시간이 주현시에 부여된다⁹⁾. 따라서 주현시(비 감응 현시)의 녹색 시간의 최댓값 지정이 없다는 특징이 있다.

반감응 신호제어 알고리즘은 [그림 2-2]와 같이 주방향 최소녹색시간 이후 부방향의 차량의 감응에 따라 현시 진행여부를 판단한다.

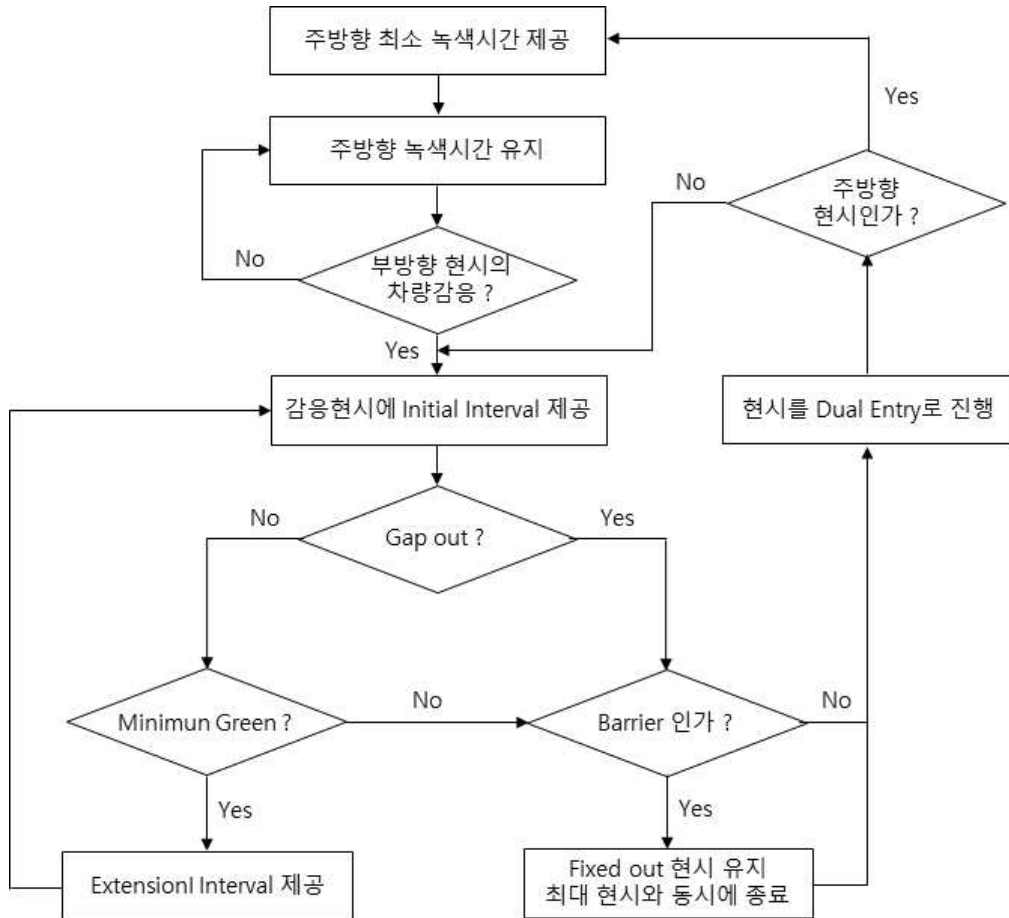
- 비감응 현시는 Minimum Green Interval 이후 다른 현시로부터 Call 이 있을 때까지 확장된다.
- 감응 현시는 비감응 현시가 Yield Point¹⁰⁾에서 종료된 후 차량 감응에 따라 Minimum Green Interval을 갖는다.
- 감응 현시는 Minimum Green Interval 이후 단위 연장이 이루어진다.
- 감응 현시는 Maximum(Force-Off¹¹⁾) 이후까지 연장될 수 없다.
- 황색시간 및 전 방향 적색시간은 운영자에 의하여 지정된다.

8) 류준일, 김원철, 김형철. (2014). 교통흐름을 고려한 교통약자 우선신호 운영 방안 연구 : 연동화 가로구간내 횡단보도를 대상으로. 『한국ITS학지』, 13(4), 12-19

9) 김형진. (2013). “국도 반감응 신호제어 도입 타당성 분석. 『대한교통학회 교통기술과 정책』, 10(5), 62-71

10) 주방향 현시종료시점이며, 감응식 연동제어의 참조점이다.

11) 부방향의 최대녹색시간이며, Max-Out되는 시점이다.



[그림 2-2] 반감응 신호제어 알고리즘

출처 : 김남선(2010), 경찰의 지방부 3지교차로 감응신호제어적용에 관한 정책적 연구

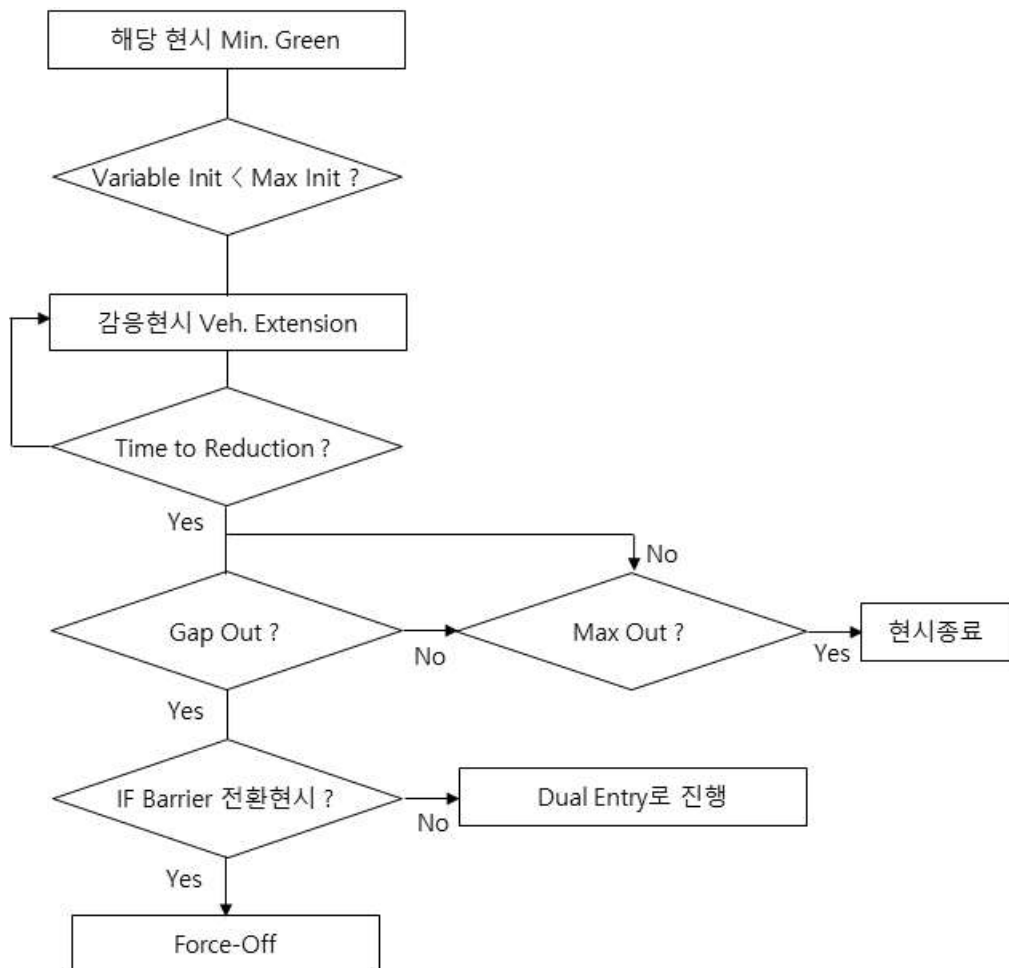
3) 교통량-밀도(Volume-Density)제어

교통량-밀도 신호 제어 방식은 완전감응식 신호제어 방식과 전체적으로는 유사하나 세부 제어 기능이 추가된 형태의 신호 제어 방식으로 야간이나 교통량이 적은 경우 접근 속도가 높아 현시 전환 시 발생할 수 있는 딜레마존(Dilemma Zone)¹²⁾ 문제를 해결하기 위해 Basic Actuated 제어의 첨단 방식인 Volume-

12) 접근부에서 접근하는 차량이 황색신호를 보았을 때 정지선 이전에 물리적으로 정지할 수도 없고, 그대로 진행하더라도 황색신호에 교차로를 다 횡단하지 못하는(신호위반) 경우가 발생하는 구간.

Density Control을 실시하는 방식이며 독립교차로에 대한 교통감응신호기 중에서 가장 이상적이며 복잡한 제어기로서 녹색시간은 각 접근로의 교통량에 비례해서 할당되고 다른 감응식 제어기와는 달리 미리 정해진 방식에 따라 감응하지 않고 교통량, 대기행렬 길이 및 지체시간에 관한 정보를 수집 기억하였다가 이를 이용하여 현시와 주기를 수시로 수정한다(김남선, 2010)

교통량-밀도 신호제어 알고리즘은 [그림 2-3]과 같다.



[그림 2-3] 교통량-밀도 신호제어 알고리즘

출처 : 김남선(2010), 경찰의 지방부 3지교차로 감응신호제어적용에 관한 정책적 연구

4) COSMOS 좌회전 감응제어

COSMOS¹³⁾의 감응제어는 지역컴퓨터(RC)의 원격제어 상황보다는 거의 독립교차로의 전술적인 제어의 차원에서 실행되며 불필요한 녹색시간을 조기 종결하고 수요가 많은 접근부로 녹색시간을 넘겨줌으로서 녹색시간 이용의 최대화를 도모하는 제어방식으로 지역제어기는 결정된 신호계획을 기본적으로 수행하면서 감응제어 기능에 의해 검지기 정보에 의한 해당시간의 교통상황에 따라 즉각적으로 신호시간을 조정하여 제어한다(김남선, 2010).

(가) 조기종결 감응제어

조기종결감응제어는 좌회전 차량의 수요가 더 이상 없다고 판단되는 조건이 되면 좌회전을 종결하고 직진 현시로 이동하는 제어이며 종결하는 시점의 판단 방법에 따라 한계비점유(Gap)¹⁴⁾ 감응제어와 누적손실시간 감응제어로 구분하고 있으며 갭감응 제어방법과 누적손실시간 감응제어는 선택적으로 혹은 각각의 결과에 대하여 OR 조건으로 한가지의 감응 조건이라도 되면 조기종결하는 혼합적용을 할 수 있다(은지혜, 2010).

(1) 한계비점유(갭감응) 방법

좌회전 차량의 수요를 좌회전 차량들의 간격을 기준으로 판단하여 사전에 지정된 Gap-out(현시조기종결) 시간동안 차량의 Call이 존재하지 않을 경우에 녹색시간을 조기 종결하는 개념으로, 측정된 단위 비점유시간이 한계비점유시간 값을 초과하면 해당 좌회전 현시를 종료하고 다음 현시를 진행한다(은지혜, 2010)

13) COSMOS(Cycle, Offset, Split Model for Seoul)는 서울시가 개발한 현장의 교통상황에 따라 자동으로 신호시간을 산출해 주는 한국형 실시간 신호제어 시스템으로 도로에 설치된 차량검지기 등에 의해 수집된 자료를 분석하여 현장의 실제 교통량에 가장 적합한 신호주기 및 신호현시를 자동으로 조절 운영하는 교통신호제어시스템이다.

14) Gap(차간시간) : 주행하는 앞뒤 두 차량 사이를 시간으로 표시한 것으로 정확히 앞 차량의 뒷부분 부터 뒤 차량의 앞부분까지의 시간간격.

(2) 누적손실시간 방법

㉔ 차량간격(Gap)의 개념을 손실시간과 연관 지어서 운영하며 손실시간이란 차량한대가 통상 갖는 포화 비점유시간 이상으로 교차로를 통과하였을 때 그 초과된 비점유 시간을 뜻한다.

㉕ 좌회전 차량의 수요가 적을 때는 필요한 현시를 이용한 후에는 차량간의 간격이 넓어지게 되며 손실시간도 증가한다.

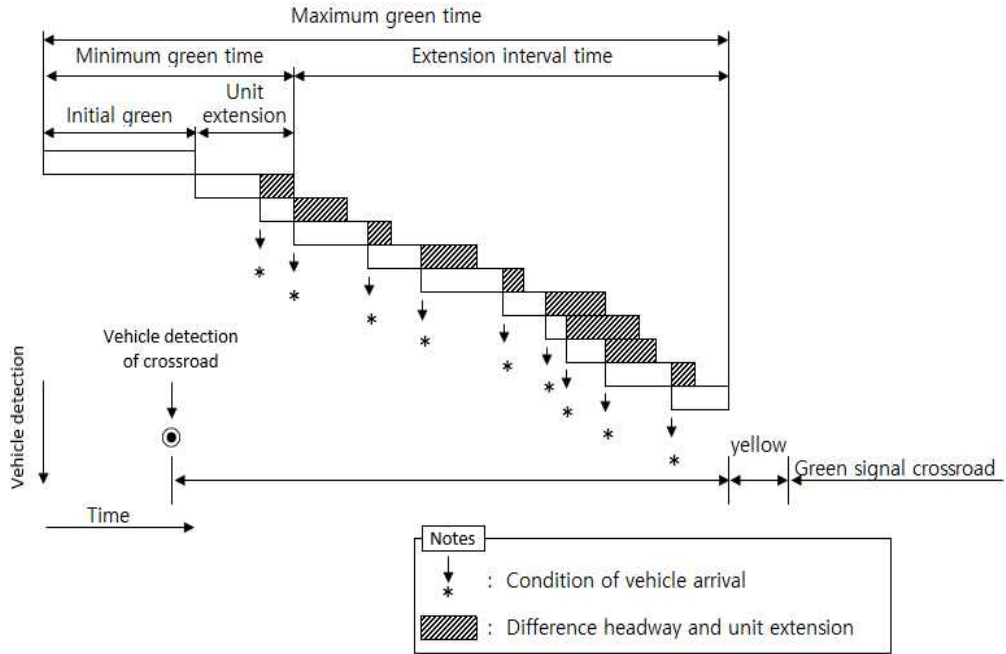
㉖ 현시시작부터 각각의 차량들의 손실시간(비점유시간-포화비점유시간)을 누적해 나가며, 그 값이 한계 손실시간 값을 초과하고 현시진행시간이 최소녹색시간을 지났으면 해당 좌회전 현시를 종결하고 다음 현시를 진행한다.

(나) 현시생략 기능

루프검지기의 경우, 좌회전 감응제어에 이용되는 검지기는 정지선 가까이 설치되어 있으므로 검지기상에 차량이 없어 좌회전 차로에 차량이 한 대도 없다고 예측하여 현시 생략을 시도하는 경우 안전상의 문제가 있기 때문에 이전의 몇 주기(기정값 3주기)의 상황을 고려하여, 차량의 존재 유무를 판단한 후에 현시생략 수행한다(김남선, 2010).

3. 감응제어 신호운영 변수

감응식 신호운영의 변수는 [그림 2-4]과 같이 최소녹색시간(Minimum Green Time)과 진행연장시간(Extension Interval), 최대녹색시간(Maximum Green Time)의 변수로 활용되며 운영되며, 검지기의 차량 감응에 따라 녹색시간이 연장 또는 종결된다(류준일 외, 2014).



[그림 2-4] 감응신호제어 개념

출처 : 류준일 외(2014), 교통흐름을 고려한 교통약자 우선신호 운영 방안 연구

1) 최소녹색시간(Minimum Green Interval)

최소녹색시간(Minimum Green Interval)은 녹색시간의 초기 부분으로 황/적색 신호 동안 정지선에서 검지기까지 대기한 차량을 통과시킬 수 있는 최소 녹색시간이며 이 시간은 녹색시간의 초기 부분으로 황·적색 신호 동안 정지선에서 검지기까지 대기한 차량을 통과 시킬 수 있는 최소녹색시간으로, 차량진행시간에 따른 initial interval과 one extension interval 또는 보행자진행시간에 따른 Pedestrian(WALK) Interval + pedestrian clearance (DON'T WALK) Interval + one extension interval로 결정한다(고광용, 2015).

2) 진행연장시간(Extension Interval)

Vehicle Interval이나 Unit Interval과 같은 의미이며, 검지기에서 교차로까지 차량의 통행을 위해 제공하는데 이것은 반대방향의 현시에 Call이 있고 녹색시간

이 제공되고 있을 때 부여가 되며 차량간격(Vehicle Interval)은 최소녹색시간 이후에 차량이 검지기에 감응이 되면 추가적인 시간을 연장을 해주는 것이다(고광용, 2015).

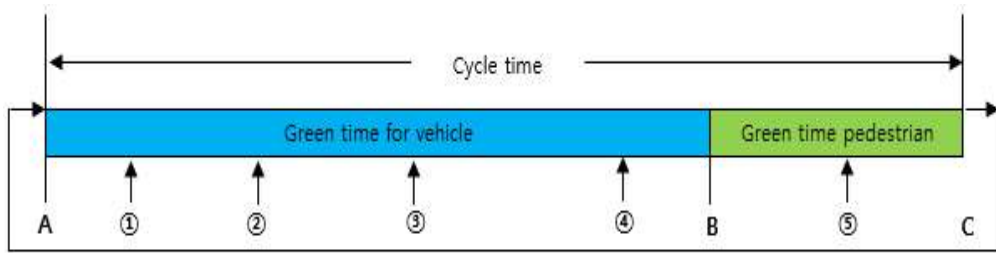
3) 최대녹색시간(Maximum Green Time)

최대녹색시간(Maximum Green Interval)은 상충현시에 감응이 있을 때, 녹색 시간을 최대로 제공할 수 있는 시간을 지정해 주는 것이다. 일반적으로 최대 녹색 시간의 범위는 30초에서 60초를 사용한다. 이 시간은 직접적으로 산출할 수 없고, 해당 교차로 노선에 기하구조, 현시, 주기에 따라 값을 산정하게 된다(고광용, 2015).

4. 보행자작동신호제어

보행자작동신호제어의 동작개념은 단일로 횡단보도 신호와 교차로신호 등 2가지로 구분된다. 첫째, 단일로 횡단보도 신호의 경우 동작개념은 다음과 같다. 보행신호 요청이 있을 경우 기 입력된 신호시간계획에 의해 보행등을 점등시키지만 보행신호 요청이 없는 경우는 차량등만 점등시킨다¹⁵⁾. [그림 2-5]에서 ①, ②, ③, ④, ⑤는 보행자가 보행요청 버튼을 누른 시점이며 B는 신호시간 계획에 의거 차량신호가 끝나는 시점이며 C는 보행신호가 끝나는 시점이다. ①번 보행자는 B-① 시간동안 기다리게 되며 ②번 보행자는 B-② 시간, ③번 보행자는 B-③시간, ④번 보행자는 B-④시간 동안 기다린 후 보행등이 등화 된다. 또한 계획된 보행신호가 끝날 무렵 횡단보도에 도착한 ⑤번 보행자는 다음 보행신호를 기다려야하며 대기시간은 $(C-⑤)+B$ 시간이 된다. 따라서 보행자가 횡단보도에 도착해서 대기하는 최대시간은 1주기로 모든 보행자는 보행요청 후 1주기이내에 보행신호서비스를 받을 수 있게 된다(경찰청, 2021).

15) 류준일. (2014). 교통흐름을 고려한 교통약자 우선신호 운영방안 연구, 『한국ITS학지』, 13(4), 12-19



here,

①②③④⑤ are points in time when pedestrian call to crosswalk

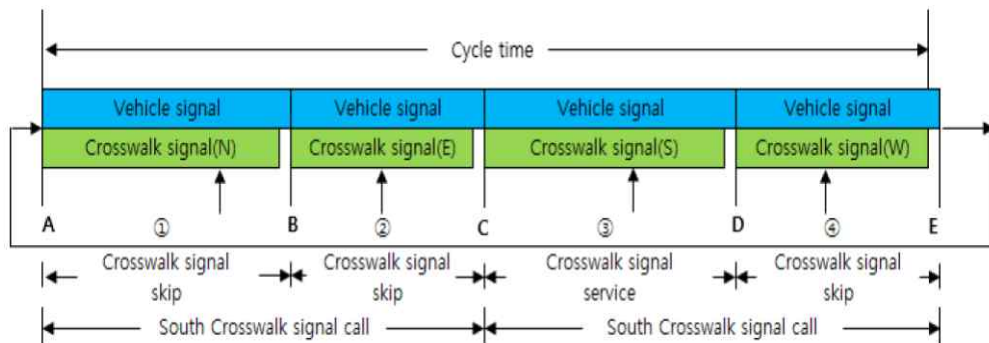
B : Point in time when closing the signal for vehicle according to a signal timing plan

C : Point time when closing the signal for pedestrian

[그림 2-5] 단일로 보행자 감응제어 개념

출처 : 경찰청(2021), 교통신호제어기 표준 규격서

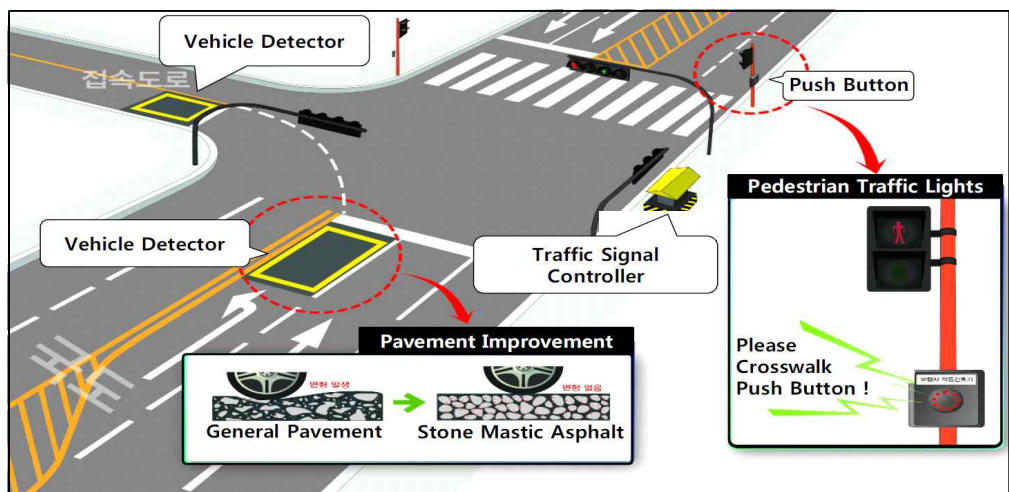
둘째, 교차로신호의 경우 동작개념은 다음과 같다. 교차로에서 보행자감응제어는 보행신호 요청이 있을 경우 해당 방향 횡단보도에 대하여 기 입력된 신호시간계획에 의해 보행등을 점등시키지만 보행신호 요청이 없는 경우는 차량등만 점등시킨다. [그림 2-6]에서 ①번과 ②번 차량신호현시 중 ③번의 남쪽 보행신호 요청이 있는 경우 현재 진행 중인 주기 순서 내에서 해당현시가 도래할 때에 보행등이 등화된다. ③번과 ④번 차량신호현시 중 ③번의 남쪽 보행신호 요청이 있는 경우 다음 신호주기 내에서 해당 현시가 도래할 때에 보행등이 등화된다. 주기 내에 횡단요청이 없는 ①, ②, ④번 횡단보도신호는 생략된다(경찰청, 2021).



[그림 2-6] 교차로신호 보행자 감응제어 개념도

출처 : 경찰청(2021), 교통신호제어기 표준 규격서

국도 감응신호제어시스템의 구성은 [그림 2-7]과 같으며 국도 좌회전감응제어시스템은 반감응제어, 좌회전 조기 종결(현시 생략 포함), 보행자감응 등으로 운영되고 있다. 차량이 없는 경우에는 신호현시를 조기 종결하여, 주도로에 현시를 부여하고, 신호주기를 고정하여 교차로 간 연동효과를 유지할 수 있도록 되어 있다. 또한 보행자감응은 횡단보도에 보행자작동신호기를 설치하여 횡단보도를 횡단하려는 보행자가 보행자작동신호기를 누를 경우에만 보행자 신호를 주는 방식이다(고광용, 2015).



[그림 2-7] 국도 반감응신호제어시스템 구성도

출처 : 도로교통공단(2015), 국도감응제어시스템 설치기준 정립

그러나 보행자작동신호기는 횡단보도를 횡단하려는 보행자가 있는 경우에만 보행자 신호를 주는 방식으로 보행자가 없을 시에는 차량신호를 부여하여 감응제어의 효과를 극대화하기 위한 즉, 차량의 지체를 최소화시킬 수 있는 제어방식이다.

5. 국내·외 감응신호제어시스템 운영 사례

1) 국내 감응신호 운영 사례

감응신호의 국내 보급은 1997년 교통신호제어기 표준규격 제정 연구(경찰청·도로교통공단)에서 좌회전 감응제어 규격을 정의하였으며, 2004년 경찰청 교통신호제어기 표준규격에서 좌회전 감응제어가 반영되었다. 그 후 2010년 경찰청 표준규격에 반감응 및 전감응 기능 규격을 정의하여 현재의 교통신호 제어기에서 전감응, 반감응, 좌회전 감응 등의 감응제어기법이 활용 가능하다. 국내의 좌회전 감응은 도시지역 시가지도로를 중심으로 이천시 국도 3호선 11개소를 포함하여 서울시 등의 대도시 위주로 수십 개소 이상을 운영 중에 있다¹⁶⁾. 국토교통부는 2020년까지 전국 국도 구간에 감응신호시스템을 509개소(‘2015~) 설치 운영 중에 있으며 2021년에는 전국 국도 및 지자체 403개소에 감응신호를 구축할 계획이며 감응제어의 효과를 극대화하기 위해 보행자작동신호기를 병행 설치하고 있다.(국토교통부, 2021)

2) 국외 감응신호 운영 사례

가) 도시부 신호제어 시스템

외국의 실시간 신호제어시스템으로는 영국의 SCOOT(Split Cycle Offset Optimization), 호주의 SCATS(Sydney Coordination Adaptive Traffic Control System), 이태리의 UTOPIA(Urban Traffic Optimization by Integrated Automation), 미국의 OPAC(Optimized Policies for Adaptive Control) 등이 있다.

SCOOT 시스템은 영국의 TRRL이 개발한 시스템으로서, 그 기본적인 제어개념은 신호제어변수인 신호주기, 녹색시간, 오프셋을 단기간의 교통량 변화

16) 고광용, 김민성, 하동익, 이철기. (2017). 우리나라 일반국도 환경을 고려한 감응제어시스템 시범운영 효과 분석. 『한국ITS학회지』, 16(1), 01~13

에 맞춰 소폭으로 변화시켜 관제 지역 내의 지체와 정지를 최소화하는 것이다. SCOOT 시스템에서는 검지기를 교차로의 정지선에 두지 않고 상류측에 설치하여 상류측에서의 교통자료로부터 최적연동화를 위한 오프셋을 계산하고, 대기행렬의 형성 및 혼잡도를 모형화하는 전략을 구사하고 있다¹⁷⁾. SCOOT은 전 세계 200여개의 도시에서 운영 중이며, 대표적인 국가 및 도시로는 영국의 캠브리지 9개 교차로와 브라질의 상파울로 1,000여개의 교차로에 구축되어 운영 중에 있다.

호주의 SCATS 시스템은 RTA(Roads and Traffic Authority, New South Wales)에 의해 개발된 교통신호제어시스템으로서 1980년 이후 호주와 뉴질랜드 등에서 설치 운영되고 있다. 이 시스템은 교통수요가 용량상태 또는 거의 용량상태에 접근한 경우 차량의 정지와 지체를 감소시킴으로써 도로의 용량을 극대화하고 대기 차량의 형성을 조절함으로써 교통정체상태의 발생가능성을 억제하는 데 그 목표를 두고 있다. 또한 SCATS는 중앙시스템에 의해 전 시스템이 관리됨으로써 최소의 재원으로 교통운영을 가능하게 하며 H/W의 각 계층(지역컴퓨터, 지역제어기)은 서로 연결되어 각 제어 변수(신호주기, 녹색시간 오프셋 등)를 검증하고 수정한다¹⁸⁾. SCATS은 전 세계 101개 도시 약 23,000여개의 교차로를 대상으로 구축·운영 중이며, 대표적인 국가 및 도시로는 호주의 시드니 2,449개의 교차로와 멜버른의 2,078개 교차로, 싱가포르 1,525개 교차로, 중국 상하이의 800개 교차로가 있다.

이태리의 UTOPIA 시스템은 현장 적응식 교통제어 시스템으로서 다소 불규칙적인 가로망 여건 하에서 차량의 지속적인 증가로 차량 대기시간이 늘어나는 경우, 현장에서의 순간순간의 교통변화에 대응할 수 있는 시스템이다(곽동달, 2002). UTOPIA의 특징 중 하나는 교통소통을 돕기 위해서 버스 및 전차에 통행우선권을 부여하는 기능을 가진다는 것이다. 즉 대중교통제어를 교통신호제어와 통합하여 운영하고 있다. 이러한 통합운영이 가능한 것은 대중교통관제시스템이 잘 구축 되어 있기 때문이며, 이 대중교통시스템에서 각 대

17) 이영태. (2010). “과포화교차로의 최적신호제어 알고리즘개발과 적용성에 관한 연구”, 경일대학교 대학원 석사학위논문

18) 곽동달. (2002). “신호제어시스템에 있어서 OFFSET에 대한 고찰”, 명지대학교 대학원 석사학위논문

중교통수단(전차 또는 버스)의 위치, 배차, 운행속도 등의 정보를 교통신호제어시스템에 제공함으로써 대중교통우선처리가 가능하게 하고 있다¹⁹⁾.

미국의 OPAC(Optimized Policies for Adaptive Control)은 예측된 교통수요를 기반으로 실시간 교통신호를 설계하며, 교차로 내 지체 및 정지를 최소화하는 것을 목표로 하는 감응식 신호제어 시스템이다. 독립된 컨트롤러 또는 연계시스템 일부로 운영이 가능한 시스템으로 다중계층의 네트워크 제어 개념의 VFC(Virtual Fixed Cycle) 원리를 기반으로 대상지 시간 및 공간을 고려하여 임의의 주기를 산출한다(서지영, 2022).

나) 지방부 신호제어 시스템

외국의 지방부 신호제어기술은 미국이 가장 앞서 있다. 1960년대 초반부터 루프검지기를 이용한 area-detection방식의 actuated control을 시작했으며, point-detection방식이 개발되면서 양 방식을 혼합된 형태로 신호기를 설치·운영하고 있다²⁰⁾. 시스템 제어 측면에서 지방부 신호 시스템의 특징은 중앙관제센터가 없이 현장 교차로들에 지역 제어기군을 master controller와 slave controller로 기능을 분화하여, 현장에서 독자적으로 연동 제어를 실시하는 것으로 미국에서 개발된 DART, FACTS, 그리고 BASYS가 대표적이다(김영찬 외, 2002).

외국 지방부의 주요 신호제어 방식은 [표 2-1]과 같다.

19) 이영태. (2010). “과포화교차로의 최적신호제어 알고리즘개발과 적용성에 관한 연구”, 경일대학교 대학원 박사학위논문

20) 석종수. (2004). 『감응식 신호를 이용한 독립교차로 운영 효율화 방안』

[표 2-1] 외국 지방부의 주요 신호제어 방식

국가별	제어방식	특 징
미국	Beirele Method	locking detection memory 방식으로 모든 접근 속도를 포함하는 높은 속도의 안전 정지거리에 첫 번째 검지기를 설치하고 이 속도보다 10mph 낮은 속도의 안전 정지거리에 두 번째 검지기를 설치한다. 두 검지기 사이에 차량의 travel time 이 1sec보다 클 때는 하류 검지기의 위치를 차량 간 interval 이 1sec가 되도록 재조정하며 검지기는 교차로에서 75ft (22.5m)까지 설치한다(석종수, 2004).
	Winston-Salem Method	안전 정지거리 설정과 검지기 위치 시작 지점이 가장 하류부라는 점에서 차이가 있다.
	SSITE Method	상류부 경계 이후에 설치되는 두 개의 검지기는 높은 속도로 접근하는 차량을 검지하고, 존 내의 4개의 검지기는 교차로 부근의 속도 감소를 고려하여 위치를 정하며 본 방식은 딜레마존을 해소하는 데 효과적이어서 미국의 Texas주 등지에서 널리 사용되고 있지만, 다수의 검지기를 사용하므로 비용과 유지관리에 다소 어려움이 있다(석종수, 2004).
	DART (Dynamic Artery Responsive Traffic Signal System)	지방부 간선도로 연동 제어의 전형적인 시스템으로, 상류부 교차로에서 차량군(platoon)이 검지되면 하류부 교차로들에 연속 진행이 가능하도록 신호를 제어한다(김영찬 외, 2002).
	FACTS (Flexible Advanced Computer Traffic Signal System)	UTCS 제1세대 시스템을 지방부의 소형 시스템으로 응용하여 개발한 것이다. 검지기 자료에서 패턴을 선택하는 방식을 사용하고, PASSER-II를 사용하여 패턴을 계산한다(허정아, 2002).
	BASYS (Basic Arterial System)	무선 연동(time-based coordination)을 사용하는 방식으로, 지방부 시스템 중 가장 초기적이며 경제적인 연동 제어 방식이다(김영찬 외, 2002).
일본	R형 검지기 (마이크로웨이브 검지기의 일종)	교차로 상류부에 설치한 R형 검지기로 통과하는 차량의 속도를 관측한 다음 해당 차량이 사전에 설정한 딜레마존에 존재하는 경우는 녹색시간을 종료하지 않고 연장하는 것이다(석종수, 2004) 도쿄의 3개 교차로를 대상으로 『딜레마 감응 제어』를 실시하였으며 1990년에 8개월간 교차로 평균 교통사고가 14건이던 것이 1991년의 2개월 이상의 시험 기간 중에는 교통사고가 전혀 발생하지 않았다(석종수, 2004). 본 방식은 검지기 기술의 발전으로 가능한 것으로 미국의 방식에 비하여 경제적이다.
스웨덴	LHOVRA	루프 검지기를 사용하는 딜레마 감응 제어 기능이 있으며, multiple-detection 방식으로 기본 원리는 미국식과 유사하다(김영찬 외, 2002). 다만 active green과 passive green의 개념을 사용하여, passive green interval 중에 딜레마 존 차량이 검지되면 green을 연장한다. 현장 실험 결과 사고 감소 효과가 25%로 관측되었으며, 50%의 conflict 감소 효과가 보고되었다(석종수, 2004).

출처1 : 김영찬 외(2002), 딜레마 구간 최호화를 위한 감응식 신호제어전략의 개발

출처2 : 석종수(2004), 감응식 신호를 이용한 독립교차로 운영 효율화 방안

제 2 절 선행연구 고찰

1. 보행자 대기시간 심리

장태연 외(2015)는 비신호 교차로에서 횡단 기다림 시간 및 시도횟수에 관한 보행행태를 연구하였는데 현재의 도로시설물은 원활한 차량소통을 위해 계획되어 있으며 도로운영에 있어서는 자동차가 통행의 우선권을 가지고 있고 이러한 차량중심의 도로운영상황하에서 보행자 및 자전거 등의 녹색교통을 위한 배려는 충분히 고려되어 있지 않다라고 밝히고 있다. 또한 보행자가 비신호 교차로 횡단 시 기다림 시간이 증가하면 정신적 스트레스를 받는다고 주장하였다.

장덕명 외(1998)는 도시부 보행자 교통신호기 설치기준 연구에서 일반적으로 횡단보도에서 보행자는 횡단 대기시간 30초부터는 인내심이 없게 되며, 40초 후에는 보도의 연석에서 차로로 내려온다는 외국의 연구결과를 제시하였고, 미국의 보행자 대기시간에 관한 보고서에서는 보행자가 기다릴 수 있는 최대한의 시간을 60초로 가정하였다고 제시했다. 또한 연구에서 미국의 신호기 설치기준을 제시하였는데 보행자가 횡단할 수 있는 차두 간격의 수가 1분에 평균 1회의 횡단간격이 발생하지 않으면 신호기를 설치하도록 하고 있다. 이것은 인간공학적(Human Factor) 측면에서 보행자가 횡단하기 위해 인내심을 가지고 최대로 기다릴 수 있는 시간을 60초로 보아 보행자 대기시간이 60초 이상이 되면 신호기를 설치하여 보행자가 횡단할 수 있도록 하는 데 근거한다²¹⁾.

Osaragi(2004)는 보행자 행동 모델링 연구에서 보행행태는 교차로 환경과 횡단기준, 안전에 대한 예견, 순간적인 판단 등이 복합적으로 작용하는 정신적인 스트레스의 결과라고 주장하였다. 보행자는 걷는 동안 다른 보행자로부터 일종의 정신적 스트레스를 받는데 이러한 종류의 스트레스를 "P-스트레스(보행자 스트레스)"라고 하며 또한 각 보행자는 일반적으로 목적지가 있는데 목적지까지 최단거리를 걷지 못하면 또 다른 정신적 스트레스를 받게 되며 이러한 종류의 스트레스를 "D-스트레스(목적지 스트레스)"라고 하였다. 따라서 보행자는 최단거리를 이용하고자 하는 경향이 있다고 주장하였다.

21) 도로교통안전관리공단 교통과학연구원. (1998). “교통신호기 설치기준 연구Ⅲ”, 10-11

Gzyl과 Osuna(2013)는 서비스가 제공되기를 기다리는 개인(공항터미널이나 기차역의 승객)이 스트레스를 어떻게 받는지를 설명하는 수학적 모델을 제시했다. 또한 스트레스를 최소화하는 방식으로 서비스를 언제 발표할지에 대한 문제를 분석하였다. 고객이 스트레스를 받지 않는 최대 시간(개인 임계값)이 있고 임계값에 도달하면 고객이 스트레스를 받기 시작하는 상황을 포함하도록 원래 모델의 확장을 제시하였다. 이 경우 누적된 스트레스의 특성을 알아보고 서비스가 발생할 때 적절한 알림을 통해 대기에 대한 심리적 스트레스를 줄일 수 있으며 최적의 알림 시간은 개인 임계값에 따라 달라짐을 확인하였다. 그리고 최적의 공지 시간은 개인의 임계값과 서비스 시간에 달려 있다고 주장하였다. 대기 승객의 경우 지연된 항공편의 출발 시간이나 열차 도착 시간에 대한 정보를 제공하고, 대기로 인한 누적 스트레스를 줄일 수 있는 최적의 시간 정책을 개발할 수 있으며 그것은 시스템 관리자가 사용자에게 기다려야 할 시간에 관한 정보를 제공할 수 있는 리소스가 있는 모든 대기시스템에 적용될 수 있다고 주장하였다.

Cheng과 Tsai(2014)는 승객의 관점에서 열차 연착과 인지된 대기시간에 대한 연구를 하였는데 인지된 대기시간을 개선하기 위해 열차 연착의 다양한 시나리오에서 승객의 대기 인내를 조사했다. ‘친절한 직원태도’, ‘적절한 사과 메시지 제공’이 열차 연착 시 승객이 인식하는 대기 시간을 개선할 수 있음을 보여 주었고 승객들은 열차 연착을 열악한 서비스의 표시로 간주하였다. 오랜 연착은 전반적인 서비스 평가에 부정적인 영향을 미칠 수 있으며 이러한 연착으로 인한 불확실성으로 인해 분노와 같은 부정적인 정서적 반응의 심각성을 증가시킬 수 있다. 따라서 연착은 대중교통 불만의 주요 원인이 된다. 이 연구의 핵심은 심리적인 관점에서 열차 연착 시 승객의 대기 과정을 개선하려는 시도에 있다.

이와 같은 (보행)대기시간 심리에 관한 선행연구를 요약하면 다음 [표 2-2]와 같다.

[표 2-2] 보행자 대기시간 심리

연구자	제시 내용
장태연 외 (2015)	• 횡단시도 횡수와 기다림 시간 증가는 만족도를 감소시킴 • 보행자가 비신호 교차로 횡단 시 기다림이 증가하면 정신적인 스트레스를 받음
장덕명 외 (1998)	• 보행자는 횡단 대기시간 30초부터는 인내심이 없게 되며, 40초 후에는 보도의 연석에서 차도로 내려온다. 또한 미국의 보행자 대기시간 보고서에서는 보행자가 기다릴 수 있는 최대한도의 시간을 60초로 가정하고 있음 • 무신호 횡단보도의 교통신호기 설치를 위한 보행자 교통량 기준 제시
Osaragi (2004)	• 보행행태는 교차로 환경과 횡단기준, 안전에 대한 예견, 순간적인 판단 등이 복합적으로 작용하는 정신적인 스트레스의 결과 • 각 보행자는 일반적으로 목적지가 있는데 목적지까지 최단거리를 걷지 못하면 또 다른 정신적 스트레스를 받게 되며 이러한 종류의 스트레스를 "D-스트레스(목적지 스트레스)"라고 하였다. 따라서 보행자는 최단거리를 이용하고자 하는 경향이 있음
Gzyl, H. 외 (2013)	• 서비스가 제공되기를 기다리는 개인(공항터미널이나 기차역의 승객)이 스트레스를 어떻게 받는지를 설명하는 수학적 모델을 제시 • 스트레스를 최소화하는 방식으로 서비스를 언제 발표 할지에 대한 문제를 분석 • 서비스가 발생할 때 적절한 알림을 통해 대기에 대한 심리적 스트레스를 줄일 수 있으며 최적의 알림 시간은 개인 임계값에 따라 달라짐을 확인하였다.
Cheng Y.H. 외 (2014)	• 승객의 관점에서 열차 연착과 인지된 대기시간에 대한 연구를 하였는데 인지된 대기시간을 개선하기 위해 열차 연착의 다양한 시나리오에서 승객의 대기 인내를 조사 • 오랜 연착은 전반적인 서비스 평가에 부정적인 영향을 미칠 수 있으며 이러한 연착으로 인한 불확실성으로 인해 분노와 같은 부정적인 정서적 반응의 심각성을 증가시킬 수 있다.

2. 보행대기시간과 교통위반 및 교통안전

Van Houten 외(2007)는 두 개의 신호화된 mid-block 횡단보도에서 보행자 대기시간과 위반 사이의 관계를 조사했다. 차량 최소녹색시간, 즉 보행자 최소대기시간을 30초에서 1, 2분으로 조작한 결과 대기시간이 증가할수록 위반율이 증가하는 것으로 나타났다.

Tiwari 외(2007)는 인도 텔리의 선별된 7개 교차로 횡단보도에 비디오 카메라를 설치하여 보행자 횡단행동을 관찰하였다. 또한 생존분석 통계적 방법을 이용하여 횡단보도 횡단행동을 분석하였다. 분석은 안전하지 않게 횡단하기 전 대기 시간에 대한 카플란-마이어 생존 곡선을 남성과 여성에 대해 별도로 그리고 각 교차로별로 하였다. 그런 다음 보행자의 90%에 대해 관찰된 평균대기시간과 모델 기반 대기 시간을 연구했다. 여성의 평균 대기시간은 남성보다 27% 많은 것으로 나타났다. 보행자가 안전하지 않을 때, 즉 자동차에 녹색이나 황색이 남아 있을 때, 보행자가 도로를 건널 확률은 대기 시간에 따라 달라지며 사람들은 길을 건너기 위해 너무 오래 기다리는 것을 원하지 않는다. 신호대기 시간이 길어지면서 보행자들은 조급해하며 신호위반을 하게 되며 이 위반은 그들이 자동차에 부딪칠 위험을 증가시킨다. 따라서 보행자의 대기 시간을 줄이면 보행자가 자동차에 부딪칠 확률이 줄어들 가능성이 높다고 주장하였다.

Zhuang과 Wu(2011)는 중국의 횡단보도가 없는 도로에서 254명의 보행자를 현장에서 관찰한 결과 65.7%가 연석에 도착한 후 차량이 오는지를 잘 보지 않는 것으로 나타났으며 보행자는 수동적으로 기다리는 것보다 잠정적으로 적극적으로 횡단하는 것을 선호한다고 주장하였다.

Brosseau 외(2013)는 과도한 보행대기시간과 위반사이의 상관관계 연구에서 적색 단계의 길이가 10% 증가하면 위반 가능성이 7.9% 증가한다는 것을 확인했다. 따라서 교차로에서의 보행대기시간은 보행자 위반에 영향을 미치기 때문에 주기 및 현시를 설계할 때는 특별한 주의를 기울여야 하며 보행대기시간을 최소화하면 신호교차로에서 위험한 보행자 행동을 줄일 수 있다고 주장하였다.

Chen 외(2017)는 교차로에서 보행자 대기시간이 횡단 중 보행자가 위반하는 정도에 미치는 영향을 평가하였다. 중국 쑤저우에서 13개의 교차로와 1075개의 위반 표본을 수집하였다. 검증은 비디오 데이터를 사용하였다. 연령, 성별, 도착시간, 적색단계, 상충되는 교통량, 횡단보도 길이 등 보행자 위반 비율에 큰 영향을 미치는 요인은 여러 가지가 있다. 또한, 보행자 최대 대기시간의 중요성이 결국 강조되었다. 따라서 신호화된 교차로에서 위험한 보행자 행동을 줄이기 위해, 대기시간을 최소화하는 것이 매우 효율적인 방법이라고 하였다. 또한 조사결과를 종합해 볼 때 횡단보도 유형 및 대기시간은 보행위반 문제를 해결하기 위한 실행 가능한 방안을 수립할 때 고려해야 할 중요한 사항이라고 결론지을 수 있다. 따라서 사이클 길이와 각 단계에 대한 실행 가능한 녹색/빨간색 시간을 설계할 때 보행자 대기시간에 초점을 맞춰야 한다고 하였다.

Wang 외(2011)는 중국 베이징의 5개 교차로에서 횡단보도 보행자 행태를 관찰, 분석하였으며 교통신호를 위반한 사람들의 대기시간 임계값이 평균적으로 약간 더 작다는 것을 발견했다. 보행대기시간이 증가할수록 보행자는 참을성이 없어지게 되고 공격적으로 바뀌게 됨에 따라 신호를 위반할 위험이 증가하고 횡단할 가능성이 높아진다고 하였다. 지구력 확률 곡선은 보행자의 약 절반이 40초 이상 기다릴 수 없다는 것을 보여주었다. 따라서 교통엔지니어는 보행자의 행동에 따라 보행자 시설을 계획하고 설계하는 것이 중요하다고 주장하였다.

Li와 Fernie(2010)는 중앙교통섬이 있는 2단 횡단보도에서의 서로 다른 날씨와 노면 조건 하에서의 횡단보도 보행자의 행동 및 횡단신호 준수율 조사를 통해 악천후에서 보행자 행동이 더 위험해지는 여부를 확인하였다. 도로를 건너는 행동은 토론토 대도시 지역의 도심지에 있는 8차선 도로 분리대에서 촬영하였고 교차로는 다가오는 근접 교통과 보행자 움직임을 모두 기록하기 위해 한 대의 카메라 세트에 의해 옥상에서 눈에 띄지 않게 촬영하였다. 또한 보행자 행동과 준수율은 안전한 도로 횡단 행동의 여러 결정 요인에 대해 점수를 매겼다. 그 결과 악천후에서 도로 횡단 행동이 좋은 날씨에서보다 덜 안전하다는 것을 확인하였다. 즉, 겨울 조건에서는 사람들이 추위 때문에 교차

로에서 기다릴 가능성이 낮은 것으로 나타났으며 중앙 교통섬의 신호 타이밍과 구성 설계도 또한 이 교차로에서 보행자의 행동에 악영향을 미쳤고, 폭우와 같은 악천후 조건은 보행자의 인내심을 단축시킴으로써 신호 미준수율을 더욱 악화시켰다고 주장하였다.

Leden(2002)은 보행자에 대한 위험도를 보행자 1인당 예상되는 보행자 사고수로 계산했을 때 위험도는 보행자의 흐름이 증가할수록 감소하고 차량의 흐름이 증가하면 증가하는 결과를 얻었고 보행자 흐름이 증가함에 따라 위험이 감소함으로 보행을 촉진하는 것은 신호 교차로에서 보행자 위험에 긍정적인 영향을 미칠 것이라고 하였다.

Ren 외(2011)는 신호교차로에서 보행자의 횡단 행태 연구에서 중국에서 보행자 사고는 도로 사상자의 대부분을 차지하고 있고 신호교차로에서 발생할 가능성이 더 높다고 하였다. 연구에서 보행자 횡단 행태에 대한 데이터는 중국 3개 도시의 신호화된 교차로에서 598명의 보행자의 비디오 이미지를 통해 확보하였다. 대부분의 보행자는 도로를 건널 때 정상적으로 걷는 것으로 나타났으며 모든 보행자의 교통 규칙 준수율은 62.8%였으며 횡단보도에서의 교통규칙 준수율을 분석한 결과 횡단거리, 신호시기, 교통경찰의 존재, 보행자 통행량 등이 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 조사자료 분석을 통해 적색 신호에 횡단한 주요 이유가 대기시간 때문이라는 의견을 얻었는데 조사대상자 중 가장 많은 비율(30.25%)이 시간 절약과 편의를 위해 교통법규를 위반했다고 응답했다.

Almodfer 외(2016)는 비신호표시 횡단보도에서의 차선기반 보행-차량 충돌에 대한 정량적 분석 연구에서 중국 우한시의 비신호표시 횡단보도에서 차량과 보행자의 행동을 기록한 수집된 영상자료를 이용하여 보행자-차량 갈등의 차선 기반 분포를 분석하고, 대기시간이 차선 기반 보행자-차량 갈등에 미치는 영향과 보행자 보행 분포에 대해 논의하였다. 실험결과 대기시간 단축과 대기공간 축소 등은 차선 기반 갈등과 매우 강하게 관련되지만 보행속도가 차선 기반 보행자-차량 갈등에서 유의미한 요소는 아닌 것으로 나타났다. 즉, 평균 보행자 지연이 높으면 보행자는 참을성이 없고 더 많은 위험을 감수하는 경향이 있다는 것을 확인하였다. 보행대기시간과 교통위반 및 교통안전

에 관한 선행연구를 요약하면 다음 [표 2-3]과 같다.

[표 2-3] 보행대기시간과 교통위반 및 교통안전

연구자	제시 내용
Van Houten 외 (2007)	• 두 개의 신호화된 mid-block 횡단보도에서 보행자 대기시간과 위반 사이의 관계를 조사했으며 차량 최소녹색시간, 즉 보행자 최소대기시간을 30초에서 1, 2분으로 조작한 결과 대기시간이 증가할수록 위반율이 증가
Tiwari 외 (2007)	• 자동차에 녹색이나 황색이 남아 있을 때, 보행자가 도로를 건널 확률은 대기 시간에 따라 달라지며 사람들은 길을 건너기 위해 너무 오래 기다리는 것을 원하지 않는다. 신호대기 시간이 길어지면서 보행자들은 조금씩 신호위반을 하게 되며 이 위반은 그들이 자동차에 부딪칠 위험을 증가시킨다. 따라서 보행자의 대기 시간을 줄이면 보행자가 자동차에 부딪칠 확률이 줄어들 가능성이 높다고 주장
Zhuang 외 (2011)	• 횡단보도가 없는 도로에서 254명의 보행자를 현장에서 관찰한 결과 65.7%가 연석에 도착한 후 차량이 오는지를 잘 보지 않는 것으로 나타났으며 보행자는 수동적으로 기 다리는 것보다 잠정적으로 적극적으로 횡단하는 것을 선호한다고 주장
Brousseau 외 (2013)	• 과도한 보행대기시간과 위반사이의 상관관계 연구에서 적색 단계의 길이가 10% 증가하면 위반 가능성이 7.9% 증가 • 교차로에서 보행자 대기시간이 보행자 위반에 미치는 영향을 파악하였는데 주기 및 현시길이를 설계할 때 보행자 대기시간에 특별한 주의가 필요하며 보행자 대기시간을 최소화하면 신호교차로에서 보행자의 위험한 행동을 줄일 수 있다고 주장
Chen 외 (2017)	• 신호화된 교차로에서 위험한 보행자 행동을 줄이기 위해, 대기시간을 최소화하는 것이 매우 효율적인 방법 • 횡단보도 유형 및 대기시간은 보행위반 문제를 해결하기 위한 실행 가능한 방안을 수립할 때 고려해야 할 중요한 사항이며 신호를 설계할 때 보행대기 시간에 초점을 맞추어야 함

3. 횡단보도 보행대기시간

채희철 외(2020)는 보행신호 1주기 2회 부여 운영 방안 연구에서 우리나라 교통사고 사망자 중 보행자 사망이 높은 비율을 차지하고 있어, 정책적으로 보행안전에 대한 관심이 높아지고 있지만 보행신호시간 계획의 경우 보행 편의 및 신호주기를 고려하지 않고 횡단보도 길이를 기준으로 보행신호시간을 적용하다 보니, 신호기가 설치된 폭이 좁은 부도로 횡단보도의 경우, 횡단거리에 비해 상대적으로 보행대기시간이 길어 보행자의 무단횡단을 유발하고 있다고 하였다. 또한 보행신호 시간 간격이 짧을수록 무단횡단은 통계적으로 감소한다고 주장하였다. 보행신호 1주기 2회 부여 운영 적용 결과 적용 전 95초에서 적용 후 65초로 30초가량 감소하는 것으로 나타났다.

이광봉(2011)은 연동화 가로구간에서의 보행자 중심의 감응식 신호운영 방법 연구에서 대부분의 교통신호는 차량을 중심으로 설계되었으며 보행자 중심의 설계 개념은 활발히 도입되지 않고 있다고 주장하였다. 또한 보행자 신호는 차량위주의 신호 설계 값에 의해 최소한의 신호만을 제공하거나 보행자 통행량이 적은 경우 보행자작동신호기(Push-button)에 의해 보행자 신호 요청 시 신호를 제공하는 방법이 이용되고 있으나 이러한 방법들은 보행자 우선의 신호운영 개념이 아니기 때문에 보행자의 지체 감소를 전혀 반영하지 않는다고 주장하였다. 보행자 중심으로 지체를 최소화하되 기본적인 차량의 흐름은 유지할 수 있는 방법을 제시하였다. 그의 연구 기본 개념은 기존의 감응신호 개념과는 반대로 교통량이 적은 경우에도 불필요한 녹색시간을 차량에게 제공하는 구간에서 이런 불필요한 녹색시간을 차량이 아닌 보행자에게 제공함으로써 보행자 지체를 최소화하기 위한 차량군의 흐름에 대응하여 보행자 녹색시간을 결정하는 감응식 신호운영 전략을 제시하고 이에 상응하는 알고리즘을 설계하여 적정성을 검증하고 교통량 및 보행자 통행량에 따른 효과분석을 하였다. 분석결과 보행자의 경우 감응식 신호운영이고정식 신호운영보다 지체 시간이 크게 감소하는 것으로 분석되었으며, 시나리오 중 시나리오 3(교통량1500대/시, 보행자 100인/시)은 -62.21%, 시나리오4(교통량 2000대/시, 보행자 100인/시)는 -56.31 %가 각각 감소하여 보행자 통행량이 많

고 차량이 적을수록 효과적인 것으로 분석되었다.

류준일 외(2014)는 교통흐름을 고려하여 차량의 지체를 최소화하는 동시에 횡단신호 시간을 증가시켜 교통약자가 안전하게 도로를 횡단할 수 있는 전략을 제안하였다. 이를 위해, 교통약자 우선 신호 운영전략을 개발하고 실제 현장에 적용 및 전산모의실험을 통해 기존의 신호운영 방법인 고정식 운영(일반인/교통약자) 및 교통약자 우선 신호의 적용과 비교 분석한 결과, 보행자 지체시간은 일반신호 운영의 경우 보다 4.7sec/ped²²⁾(6.2%) 감소되는 것으로 나타났으며, 차량의 통행속도는 일반신호 운영보다 1.4km/h(8.5 %), 고정식 교통약자신호 운영보다 2.1km/h(13.3%)이 증가하였고 통행시간은 일반신호 운영보다 18sec/veh²³⁾(16.2%), 고정식 교통약자신호 운영보다 34.2sec/veh(26.9%) 감소하는 것으로 나타났다. 분석결과를 통해 교통약자가 안전하게 도로를 횡단할 수 있는 횡단시간을 제공하면서 동시에 통과차량의 지체를 줄일 수 있다고 주장하였다.

이정범(2013)은 보행자의 편리한 이동과 회전교통량과의 상충을 최소화할 수 있는 대각선 횡단보도에 대한 연구에서 대각선 횡단보도는 보행자의 횡단 시간을 줄이고 보행자와 우회전 차량과의 상충을 방지시켜 보행자의 안전이 향상된다고 하였다. 연구에서 대전 중구 센트럴파크 212동 앞 네거리와 반석동 롯데리아 앞 네거리에 대각선 횡단보도 설치에 따른 보행자와 교차로 지체에 대한 분석결과 교차로의 지체가 약간 늘어나는 것으로 나타났으나 실제 교통류의 흐름에 큰 영향을 주지는 않았다. 반면, 보행자의 경우 시간당 약 8,379초의 지체 감소효과가 나타나는 것으로 분석되었다. 따라서 대각선 횡단보도는 원하는 방향으로 횡단을 할 수 있어 보행자가 두 번 횡단해야 하는 불편함을 줄이고 짧은 대기시간으로 인하여 불법 횡단을 최소화 할 수 있는 장점이 있어 대각선 횡단보도의 확대 설치가 필요하다고 주장하였다.

시사타임(2013)은 2013년 수원시와 경기지방경찰청이 보행대기시간을 줄이기 위해 ‘더블 사이클’ 기법을 시범운영한 사례를 소개하였다. 더블 사이클 기법은 교차로 신호주기 1회당 교차로에 인접한 단일 횡단보도 주기를 2회 운영해 보행

22) sec/ped(초/인) : pedestrian delay

23) sec/veh(초/대) : vehicle travel time

대기시간을 줄이고 차량신호 연동을 최대로 보장할 수 있는 기법이다²⁴⁾. 시는 짧은 횡단거리에도 불구하고 보행대기시간이 길어 무단횡단이 자주 발생했던 ‘아주대삼거리’에 시범운영 결과 최대 보행 대기시간을 기존 151초에서 67초로 단축시켰다. 이 기법은 차량 연동에 지장을 주지 않는 범위 내에서 차량과 보행자를 모두 만족시킬 수 있도록 보다 효율적이고 합리적인 교통 신호 운영이 가능할 것이며 획일적인 교통 신호 운영을 벗어나 교차로 특성을 고려한 현장 맞춤형 운영방안으로 보행자를 우선적으로 고려한 교통신호운영체계라고 설명하고 있다. 횡단보도 보행대기시간 감소 선행연구를 요약하면 다음 [표 2-4]와 같다.

[표 2-4] 횡단보도 보행대기시간 감소

연구자	제시 내용
채희철 외 (2020)	• 보행신호시간 간격이 짧을수록 무단횡단은 통계적으로 감소 • 보행신호 1주기 2회 부여 운영 적용 결과 적용 전 95초에서 적용 후 65초로 30초가량 감소
이광봉 (2011)	• 보행자 통행량이 적은 경우 Push-button을 사용하고 있으나 이는 보행자 우선의 신호운영 개념이 아니며 보행자의 지체 감소 등이 반영되지 않았음 • 차량군 흐름에 대응하여 보행자 녹색시간을 결정하는 감응식 신호운영 전략을 제시하고 알고리즘에 대한 적정성 검증 • 보행자의 경우 감응식 신호운영이 고정식 신호운영보다 지체시간이 크게 감소하였고 보행자 통행량이 많고 차량이 적을수록 효과적인 것으로 분석
류준일 외 (2014)	• 연동화 가로구간의 경우 차량중심의 신호운영에서 발생하는 불필요한 시간을 보행자에게 우선적으로 부여 • 교통약자 우선신호 운영전략을 현장 적용 및 전산모의 실험을 통해 보행자 지체시간이 일반신호 운영의 경우 보다 4.7 sec(6.2%) 감소
이정범 (2013)	• 대각선 횡단보도는 보행자의 횡단시간을 줄이고 보행자와 우회전 차량과의 상충을 방지시켜 보행자의 안전이 향상되며 원하는 방향으로 횡단을 할 수 있어 보행자가 두 번 횡단해야 하는 불편함을 줄이고 짧은 대기시간으로 인하여 불법 횡단을 최소화 할 수 있는 장점이 있음
시사타임 (2013)	• ‘아주대삼거리’에 더블 사이클 적용 결과 부도로 횡단보도 최대 보행대기시간을 기존 151초에서 67초로 단축

24) 시사타임(2013). “횡단보도 대기시간 단축, 무단횡단 하지 말아요~” 2013. 08.05, 권수정 기자, <http://www.sisatime.co.kr/news/articleView.htm?l?idxno=37082>

4. 보행자작동신호기 설치 기준 및 효과

경찰청(2021a)의 『보행자 작동신호기 설치지침』에 보행자 작동신호기 설치 장소 권장사항은 단일로의 경우 일반 국도 및 지방도 등에서 보행자 교통량은 많지 않으나 보행자의 도로횡단 필요성이 있어 신호기가 설치된 지점, 보행자 교통량이 신호기 설치기준에는 미치지 못하나 기타 설치 기준에 의하여 신호기가 설치된 지점, 기타 공학적으로 필요하다고 인정되는 지점에 설치할 수 있다고 제시했고 보행자 작동신호기 설치로 주도로의 교통 혼잡이 크게 개선될 수 있고 부도로의 현시시간 단축으로 인한 악영향이 없을 것으로 예상되는 지점에 설치를 권장하고 있다.

보행자작동신호기는 보행자 스스로 누름버튼을 눌러 신호를 요청하는 방식으로 보행자가 드물거나 일정한 시간대에만 있는 횡단보도에 설치하며 횡단 보행자가 없는데도 불구하고 차량이 대기하는 불합리한 점을 해소시킬 수 있다(경찰청 교통신호기 설치·관리 매뉴얼, 2020), 또한 보행자가 많은 도시부 도로보다는 보행자가 적은 지방부 도로에 효과적이기 때문에 국도나 지방도의 단일로 또는 교차로에 신호등을 설치 시 보행자작동신호기의 설치를 검토하는 것이 좋다고 제시했다²⁵⁾.

『교통신호제어기 표준 규격서』에 제시된 교차로 횡단보도 신호의 경우 보행자 작동신호 제어의 동작개념은 교차로에서 보행자감응제어는 보행신호 요청이 있을 경우 해당 방향 횡단보도에 대하여 기 입력된 신호시간계획에 의해 보행등을 점등시키지만 보행신호 요청이 없는 경우는 차량등만 점등시키는 개념이며 해당 방향 차량신호 진행시 보행신호 요청이 있는 경우는 다음 신호주기 내에서 해당 보행현시가 도래할 때에 보행등이 등화된다는 것을 의미한다(경찰청, 2021b).

김중효 외(2015)는 보행자작동신호기 도입 확대 방안에 관한 연구에서 횡단보도에서의 교통안전 대책의 일환으로 보행자작동신호기 설치 확대 방안을 제시하였다. 근거제시를 위하여 보행자 작동신호기가 설치된 곳과 설치되지 않은 곳으로 구분하여 총 19개소를 조사하여 분석한 결과, 보행자작동신호기

25) 설재훈, 조한선. (2005). 보행자 작동신호기 효과분석 및 도입 확대방안

가 설치된 지역의 차량운전자가 설치되지 않은 지역의 차량운전자보다 차량 신호를 잘 지키는 것으로 분석되었다. 보행자의 신호 준수율은 보행자작동신호기 설치 유무에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 보행자작동신호기 설치 전·후 각각 3년간의 교통사고건수 비교는 설치 전 총 8건에서 설치 후 총 2건으로 감소하였으나, 샘플수가 충분하지 않아 신뢰성에 한계가 있었다. 그러나 보행자작동신호기 설치가 교통사고 감소에도 긍정적인 효과가 있는 것으로 분석되었다. 또한 경제성 분석을 통해 전국 단일로 횡단보도에 보행자작동신호기를 설치할 경우, 초기비용은 설치 후, 1년 이내에 회수되는 것으로 분석되었다. 따라서 1단계로 보행자작동신호기가 설치되어야 할 횡단보도를 파악하고, 전국의 모든 단일로 횡단보도에 우선 설치할 것을 제안하며, 2단계로 기존 음향신호기 중 노후화 등으로 교체예정인 곳은 점진적으로 일체형으로 대체하고, 3단계로 CBD²⁶⁾지역을 제외한 모든 횡단보도에 설치할 것을 제안하였다.

김응철 외(2009)는 기존 정주기식 신호제어로 인하여 비효율적으로 운영하고 있는 3지 교차로의 문제점을 보완하는 방안으로 반감응 신호제어를 기본으로 하고 보행자작동신호기를 사용하는 신호운영방식의 효율성을 분석하였다. 미시적 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 사용하여 정량화된 차량 당 평균지체 감소의 정도를 분석하였다. 시나리오별 분석을 통하여 차량 당 평균지체시간을 비교한 결과, 대상교차로는 정주기식 신호제어에 비하여 보행자작동신호기를 이용한 신호제어방식이 최소 3.7초(10%), 최대 6초(16%)의 감소효과를 나타내었으며, 반감응식 신호제어와의 비교에서는 보행자교통량이 20% 이하일 때보다 효율적인 것으로 나타났다.

조한선 외(2007)는 보행자작동신호기 설치 시 비용과 편익을 현장조사 및 시뮬레이션을 이용하여 분석함으로써 이의 효과를 가시적으로 제시하였다. 4개의 연구대상지점을 선정하여 실제 차량 및 보행자교통량을 조사하여 보행자작동신호기의 효과를 검증해 본 결과, 4개소 모두 B/C²⁷⁾가 1이 넘어 보행자작동신호기 설치가 타당하다는 결론이 나왔다. 또한 차량교통량과 보행자교

26) CBD(Central Business District) : 중심 업무 지구

27) B/C(Benefit-Cost ratio) : 편익-비용 비율

통량에 따른 민감도 분석을 한 결과 보행자교통량이 90인/시 보다 많을 경우에는 보행자작동신호기의 효과가 없는 것으로 나타났으며, 보행자 교통량이 90인/시 이하이고, 차량교통량이 2,500대/시 이상일 경우에는 보행자작동신호기에 대한 B/C가 1이 넘어, 이 경우 보행자작동신호기 설치가 타당하다고 나타났다. 또한, 차량교통량이 많고 보행자교통량이 적을수록 그 효과는 더 큰 것으로 나타났다.

윤승섭 외(2015)는 보행자 작동신호기 설치기준 정립을 위한 적정 차량 및 보행자 교통량 추정모형을 연구하였는데 현재 보행자 작동신호기의 설치기준은 보행자 수가 적은 단일로 횡단보도에서 설치하도록 제시되어 있으나 해당 기준은 차량을 중심으로 만들어진 것으로 보행자 측면의 고려도 필요하다고 주장하였고 이러한 설치기준은 객관적으로 판단하기 어려우므로 공학적인 기준이 필요하며 보행자교통량과 차량교통량에 따라 각각의 지체시간을 산출하고 보행자와 차량을 동등한 입장에서 비교하여 공학적인 설치기준을 정립하였다. 지체시간 산출을 위해 도로의 설계기준에 따른 횡단구성, 보행자 녹색시간, 보행자와 차량의 균일 도착분포 시나리오를 가정하였으며 그 결과 양방향 2차로에서 차량의 통행이 52대/시 이상이고, 보행자 교통량이 97 인/시 이하일 경우, 보행자 지체(보행자 총 대기시간)가 차량 지체보다 항상 작다는 것이다. 이 결과는 차량보다 보행자에게 유리한 교통량 기준이다. 또한 양방향 3차로의 경우, 40대/시 이상, 85 인/시 이하에서, 양방향 4차로 경우, 27 대/시 이상, 70인/시 이하에서 각각 보행자작동신호기가 보행자에게 더 유리한 것으로 도출되었다.

이와 같은 보행자작동신호기 설치 기준 및 효과에 대한 선행연구를 요약하면 다음 [표 2-5]와 같다.

[표 2-5] 보행자작동신호기 설치 기준 및 효과

연구자	제시 내용
경찰청 (2021a)	• 보행자 작동신호기 설치로 주도로의 교통 혼잡이 크게 개선될 수 있고 부도로의 현시시간 단축으로 인한 악영향이 없을 것으로 예상되는 지점에 설치를 권장
경찰청 (2020)	• 보행자가 드물거나 일정한 시간대에만 있는 횡단보도에 설치하며 횡단 보행자가 없는데도 불구하고 차량이 대기 하는 불합리한 점을 해소
경찰청 (2021b)	• 보행신호 요청이 없는 경우는 차량등만 점등시키는 개념이며 해당 방향 차량신호 진행시 보행신호 요청이 있는 경우는 다음 신호주기 내에서 해당 보행현시가 도래할 때 에 보행등이 등화된다
김중효 외 (2015)	• 교통안전 일환으로 보행자작동 신호기 설치 확대 제시 • 보행자작동신호기가 설치된 지역의 차량운전자가 설치되지 않은 지역의 차량운전자보다 차량신호를 잘 지키는 것으로 나타났고 보행자의 신호 준수율은 보행자작동신호기 설치 유무에 큰 차이가 없는 것으로 분석 • 보행자작동신호기 설치 전·후 3년간의 교통사고 건수는 설치 전 총8건에서 설치 후 총 2건으로 감소
김응철 외 (2009)	• 정주기식 신호제어 대비 보행자작동신호기를 이용한 신호제어방식이 최소 3.7초(10%), 최대 6초(16%)의 감소 • 반감응식 신호제어와의 비교에서는 보행자교통량이 20% 이하일 때보다 효율적인 것으로 나타남
조한선 외 (2007)	• 보행자 교통량이 90인/시 이하이고, 차량 교통량이 2,500대/시 이상일 경우에는 보행자작동신호기에 대한 B/C가 1이 넘어, 이 경우 보행자작동 신호기 설치가 타당 • 차량교통량이 많고 보행자교통량이 적을수록 그 효과는 더 큰 것으로 나타남
윤승섭 외 (2015)	• 보행자작동신호기의 설치기준은 차량을 중심으로 만들어진 것으로 보행자 측면의 고려도 필요 • 양방향 2차로에서 차량의 통행이 52대/시 이상이고, 보행자 교통량이 97인/시 이하일 경우, 보행자 지체가 차 지체보다 항상 작았으며 이 결과는 차량보다 보행자 에게 유리한 교통량 기준임

5. 감응신호 운영 효과

이슬 외(2017)는 2차로형 4지 회전교차로를 대상으로 차량 및 보행자를 고려한 회전교차로 감응식 신호미터링 알고리즘을 개발하였으며, 3개 운영 시나리오(고정식 보행신호, 차량 신호미터링, 차량 및 보행자 신호미터링)에 대해 VISSIM을 활용하여 개선효과를 분석하였는데 보행자 Push-Button과 차량 신호미터링을 접목하여 신호미터링을 운영할 경우 차량 당 평균지체는 총 진입교통량 3,000대/시에서 최대 40.6초/대로 42.7%까지 감소하는 결과를 도출하였다.

고광용 외(2017)는 국도 감응제어시스템 시범운영 효과를 분석하였다. 적용한 제어기법은 반감응제어, 좌회전 조기 종결, 보행자 감응 등이 차량 검지가 없으면 신호현시를 조기 종결하고, 주도로에 현시를 부여하였다. 신호주기는 고정하여 교차로 간 연동효과를 유지할 수 있도록 구현하였다. 보행자 감응은 모든 횡단보도에 보행자 작동신호기를 설치하여 보행자와 차량신호를 독립적으로 감응하였다. 횡단보도를 횡단하려는 보행자가 있는 경우에만 보행자 신호를 주는 방식으로, 보행자가 없을 시에는 차량신호를 부여하여 정지로 인한 지체를 최대한 감소하도록 하였다. 국도 감응신호 효과평가 결과, 주방향 녹색시간은 전체적으로 일평균 시간당 27%가 증가하였다. 통과 차량대수는 12.19% 증가하였다. 감응신호 운영 시 TOD²⁸⁾시간 대비 정지지체시간은 36.9%, 주행시간은 약 10.99%가 개선되었다. 따라서 국도에서 고정식 신호운영을 하는 것보다는 감응식신호제어로 운영하는 것이 상당히 효과적이라고 주장하였다.

김승진(2011)은 반감응 신호제어가 구축된 이천시 18개소의 교차로를 대상으로 구축 후 교통량, 통행시간, 차량지체 등을 분석하였으며 분석결과, 주방향의 용량이 증대되어 오전 및 오후 첨두시 평균적으로 9.4%, 11.3%의 통과교통량이 각각 증가한 것으로 확인되었다. 직진 차량에 대한 녹색시간 폭이 확대되어 평균적인 주행시간이 오전 첨두시에는 6.3%, 오후 첨두시에는 7.8% 감소되어 주도로와 부도로 교통량의 편차가 크고, 횡단보도 보행자가

28) Time of day mode : 특정 시간대별로 미리 조사된 교통량에 맞게 만들어진 신호시간계획표에 따라 신호가 바뀌는 방법. 실시간 교통량의 변화에 대한 감응이 아니므로 패턴선택식 제어와 함께 전략적 제어라 함.

적은 도로에는 반감응제어가 매우 효과적인 것이라고 주장하였다.

강민석(2007)은 일반국도의 주방향 소통개선을 위한 연동형 반감응 신호제어 연구에서 경기북부 지역의 주요 간선도로 축인 국도 3호선 및 국도 43호선을 대상으로 주방향 소통을 극대화하기 위한 반감응 연동신호 제어전략을 제시하였고 TRANSYT-7F²⁹⁾의 PROS(ProgRession OpportunitieS)³⁰⁾ 기능을 이용한 분석 결과 주방향 통행속도와 녹색시간이 10% 이상 개선되는 효과를 확인하였다. 감응신호 운영 효과에 대한 선행연구를 요약하면 다음 [표 2-6]과 같다.

[표 2-6] 감응신호 운영 효과

연구자	제시 내용
이솔 외 (2017)	보행자 Push-Button과 차량 신호미터링을 접목하여 신호미터링을 운영할 경우 차량 당 평균지체는 총 진입교 통량 3,000대/시에서 최대 40.6초/대로 42.7%까지 감소
고광용 외 (2017)	- 주방향 녹색시간은 고정신호제어 대비 약 27.6% 증가하였고 평균 정지 지체는 36.93% 감소하였으며 주행시간은 10.99% 단축 - 따라서 국도에서 고정식 신호운영을 하는 것보다는 감응식신호제어로 운영하는 것이 상당히 효과적임
김승진 외 (2011)	- 주방향 통과교통량이 오전 및 오후 첨두시 9.4%, 11.3%씩 증가 - 주도로 평균 주행시간이 오전 첨두시에는 6.3%, 오후 첨두시에는 7.8% 감소하였으며 지체차량의 수도 오전 첨두시에는 36.4%, 오후 첨두시에는 23.9% 감소 - 따라서 주도로와 부도로 교통량의 편차가 크고, 횡단보도 보행자가 적은 특성이 있는 도로에는 반감응제어가 매우 효과적인 것이라고 주장
강민석 (2008)	국도 3호선 및 국도 43호선을 대상으로 주방향 소통을 극대화하기 위한 반감응 연동신호 제어전략을 제시하였고 TRANSYT-7F의 PROS 기능을 이용한 분석 결과 주방향 통행속도와 녹색시간이 10% 이상 개선

29) TRANSYT-7F 모형은 전체 교통시스템 측면에서 높은 효율성을 제공함으로 Network의 최적 신호시간계획에 이용되는 가장 범용적인 모형이다. 개개의 차량을 밀집군으로 묶어서 지체시간과 정지시간의 선형조합 함수로 표현되는 수행지수(Performance Index : PI)를 효과측정의 기본 변수로 하며, 이 수행지수를 최소화하는 현시시간과 오프셋(off-set, 연동값)을 선택하여 신호시간을 결정한다.

30) Progression Opportunities는 정기 혹은 다른 교통류의 영향이 없이 신호교차로의 주어진 녹색 시간동안 하류부 교차로로 이동할 수 있는 기회로 정의된다.

제 3 절 선행연구와의 차별성

앞에서 살펴본 선행연구들은 보행대기시간에 대한 보행자의 심리적 측면, 보행대기시간과 교통위반 및 교통안전에 대한 관계, 횡단보도 보행대기시간 감소를 위한 대안 마련 그리고 보행자작동신호기 효과를 제시하고자 노력하였다.

신호교차로 횡단보도에서 보행대기시간이 늘어나게 되면 보행자는 정신적인 스트레스를 받는 것으로 나타났고 이는 보행자의 교통신호위반을 증가로 이어져 보행자의 교통안전에도 부정적으로 작용하는 것으로 분석되었다.

횡단보도 보행대기시간을 줄이기 위한 노력으로 보행신호 1주기 2회부여 운영, 감응신호 구간에서 차량 중심의 신호운영에서 발생하는 불필요한 시간을 보행자에게 우선적으로 부여하는 방안을 검증하였으나 보행자 지체 시간이 크게 개선되지는 못했다.

기존 감응신호 연구들은 정주기식 신호제어와 반감응식 신호제어에서 보행자가 없음에도 불구하고 보행자신호를 제공함에 따라 발생할 수 있는 차량지체의 문제점을 해결하여 효율적인 교차로 신호운영을 가능하게하기 위한 내용을 주로 다루었다.

보행자작동신호 설치 기준 및 효과분석 연구에서는 보행자작동신호기를 설치함으로써 차량지체 감소편익만을 고려하였다. 국도 좌회전감응신호의 경우 보행대기시간이 얼마나 변화했는지 이로 인하여 보행자가 불편을 느끼고 있는지에 대한 연구와 보행자 대기시간을 최소화하려는 연구 등은 다소 미흡했다.

따라서 본 연구는 감응신호구간에서 기존 연구의 미비점들을 개선하고자 보행대기시간 최소화에 주안점을 두었다. 이를 위해 좌회전감응신호 적용 전·후의 보행대기시간을 조사·분석하고 좌회전감응신호 적용 후의 보행대기시간에 대한 보행자의 만족도를 분석하였으며 이를 토대로 좌회전감응신호 구간에서 보행대기시간 최소화 감응신호 제어전략을 제시하고 시뮬레이션 효과분석을 통해 향후 현장 적용 가능성을 검증하는 것이 다른 연구와의 차별성이다. 결론적으로 본 연구는 차량 중심의 감응신호운영을 보행자 중심의 감응신호 운영으로 전환하는 제어 전략을 제시하고 있다는 점에서 의의가 있다.

제 3 장 감응신호운영 현황 및 문제점

제 1 절 연구 대상지 현황

1. 연구 대상지 선정

앞서 2장 2절 국내 감응신호 운영 사례에서 언급한 바와 같이 2020년 기준 전국 국도 구간 509개소에 감응신호시스템이 설치 운영 중에 있다. 그 중 본 연구의 대상지로 이천시 서이천로 구간을 선정하였다. 대상지 선정 요인은 다음과 같다.

첫째, 이천시는 [표 3-1]과 같이 2007년 국도3호선 11개 교차로에 감응신호시스템을 설치한 이후 [표 3-2]와 같이 2016년 국도3호선 및 38호선 26개 교차로, 2017년에 국도3호선 24개 교차로, 2018년에 국도42호선 32개소에 설치 운영 중에 있어 타 지자체에 비해 비교적 도입 시기도 빠르고 설치 경험도 많은 관계로 시민들도 감응신호시스템에 대한 이해도가 높은 편이다. 그간의 구축 후 감응신호 운영 효과에 대한 분석 사례가 다수 있으나 보행자에 대한 만족도 및 보행대기 시간에 대한 분석 결과는 가지고 있지 않아 본 연구의 대상지로 적합하다고 판단했다.

둘째, 서이천로 감응신호 구간은 2020년에 전국 최초로 국도가 아닌 시도 구간에 좌회전감응신호시스템이 설치된 구간으로 본 연구 결과가 향후 타 시도 구간 적용 시 유사성을 제고하는 데 있어 유리한 점이 있다고 판단하였다.

셋째, 서이천로는 3지와 4지 교차로가 혼재되어 있고 단속류와 연속류의 도로 특성을 가지고 있어 타 구간에 비해 다양한 기하구조를 갖추고 있어 교통데이터의 다양성을 확보할 수 있다.

넷째, 감응신호시스템 적용 요건을 갖추고 있다. 주도로 교통량이 많고 부도로 교통량이 상대적으로 적은 교통여건을 갖추고 있다. 조한선 외(2007)가 제시한 보행자작동신호기 설치 타당 기준, 즉 보행자 교통량이 90인/시 이하이고, 차량 교통량이 2,500대/시 이상의 교통패턴을 보이고 있어 보행자작동신호기 설치의

효과가 있는 구간으로 이는 차량 지체 개선에 매우 효과적인 교통패턴이나 상대적으로 보행자의 대기시간은 그 만큼 증가할 가능성이 매우 높은 구간이다.

다섯째, 해당 구간은 CALL 기반 감응제어가 가능한 2010년형 경찰청 규격신호제어기가 설치되어 있어 좌회전감응제어, 현시생략, 조기종결 및 보행자감응제어가 가능한 환경을 갖추었다.

여섯째, 처음 구축이 되는 타 지자체에 비해 기존 운영 경험을 통해 시민들이 보행자작동신호기 작동방법 등에 인지도가 있어 보행자작동신호기 작동방법 미숙으로 인하여 발생할 수 있는 보행대기시간이 늘어나는 요인을 배제할 수 있어 보행대기시간 데이터의 신뢰도를 확보할 수 있다고 판단하였다.

일곱째, [표 3-3]과 같이 2015년 도로교통공단에서 마련한 국도 감응신호시스템 설치 기준에서 제시하는 검지기와 [표 3-4]와 같이 국토교통부와 경찰청 협의결과 선정된 보행자작동신호기, 감응제어 도로표지판 및 노면표시 디자인이 현장에 적용된 사이트였다. 이는 그간 기존 8각 루프검지기가 이륜차를 검지하지 못하는 단점을 보완하기 위해 정지선에 이륜차 검지기를 설치함으로써 이륜차의 검지가 좌회전감응제어에 반영 가능하게 되었고, 보행자작동신호기의 디자인도 음성안내는 물론 각 상황별로 LED의 등화 방법을 달리하여 보행자가 보행자작동신호기 버튼을 정확하게 눌렀는지를 파악할 수 있도록 상황별 등화방법을 달리하여 보행자의 혼선을 최소화하였고 차량 운전자가 감응신호로 운영되는 구간임을 인지할 수 있도록 감응신호 도로표지판과 노면표시가 갖추어진 구간이다.

여덟째, 이천시는 교통정보센터가 구축되어 있어 센터에서 검지기 및 보행자작동신호기 이상 유무 파악이 용이한 네트워크 환경을 갖추고 있다. 따라서 보행대기시간 조사 시 보행자작동신호기의 작동 이상으로 인한 데이터 신뢰도 저하를 최소화할 수 있는 이점을 가지고 있다.

위의 연구 대상지 선정 요인을 토대로 [표 3-5] 및 [그림 3-1]과 같이 이천시 서이천로의 대상지 교차로를 선정하였다. 보행자대기시간을 조사하기 위하여 보행자작동신호기가 설치된 수남삼거리 등 6개 교차로를 대상 지역으로 선정하였고 도드람교차로는 횡단보행자수가 너무 적어 분석 자료로 사용하기에 어려움이 있어 제외하였다. 이중에서 장암삼거리 및 물류단지교차로의 현시체계는 감응신호

구축사업 시 변경되었다. 장암삼거리는 좌회전 감응신호운동을 위하여 기존 주도로 및 부도로의 비보호좌회전을 없애고 보호좌회전을 신설함에 따라 3현시에서 4현시로 변경되었고 물류단지교차로의 경우는 주도로 및 부도로 좌회전감응신호운동과 주도로 직진신호를 늘리기 위해 4현시에서 3현시로 현시체계가 변경되었다.

[표 3-1] 국내 감응신호 운영 사례

지 역	설치년도	개소	감응형태			비고
			반감응	완전감응	보행감응	
천안시 (지방도23)	2008	1		○		운영 중
이천시 (국도3호선)	2008 이전	11	-	-		반감응식 설치 후 좌회전 감응만 운영
고양시 (지방도310)	2004 이전	5	○			운영 중
오산시 (국도1호선)	2005	3	○			운영 중
파주시 (국도1호선)	2011	11	○			운영 중
전주시 (시가지도로)	2012	2	○			총10개소 중 8개소는 차량만 감응
수원시 (국도1호선)	2007	1	○			운영 중

출처 : 고광용(도로교통공단)(2015), 국도감응제어시스템 설치기준 정립

[표 3-2] 국도 감응신호시스템 구축 현황

단계	자자체	대상구간	교차로 수
시범사업 (2014년)	화성시	국도43호선	4개소
	포천시	국도87호선	4개소
1단계 (2015년)	김포시	국도48호선	33개소
	경주시	국도7호선	18개소
2단계 (2016년)	이천시	국도3호선, 국도38호선	26개소
	남양주시	국도47호선, 국도45호선, 국도6호선	24개소
3단계 (2017년)	이천시	국도3호선	24개소
	나주시	국도1호선	11개소
	울산시	국도7호선	11개소
	평택시	국도39호선	14개소
	광양시	국도2호선	6개소
4단계 (2018년)	용인시	국도45호선, 국도42호선	11개소
	여주시	국도42호선, 국도3호선	26개소
	이천시	국도42호선	32개소
2019년	울산시	국도14호선, 국도35호선	35개소
	영덕군	국도7호선	12개소
	당진시	국도28호선	3개소
	인제군	국도44호선	14개소

출처 : 이천시(2020), 이천시 감응신호시스템 구축 실시설계 용역보고서

[표 3-3] 이륜차 검지기

구 분	장 점	검지기 범위
이륜차 검지기 (Diagonal Quadrupole)	검지영역이 넓어 검지기 모든 범위에서 이륜차 검지 가능	

출처 : 고광용(도로교통공단)(2015), 국도감응제어시스템 설치기준 정립

[표 3-4] 보행자작동신호기, 도로표지판 및 교통노면표지 디자인

구 분	보행자작동신호기 디자인	도로표지판 디자인	노면표시 디자인
디자인			

출처 : 이천시(2020), 이천시 감응신호시스템 구축 실시설계 용역보고서

[표 3-5] 연구 대상지

NO.	교차로명	기하구조	신호현시	보행신호시간(초)	주기	보행자작동신호기 설치된 횡단보도 (전체 횡단보도 수)
1	수남삼거리	3지	3현시	24(3)	150	1개소(총 4개소)
2	고척사거리	4지	4현시	22(3)	150	1개소(총 7개소)
3	도예고사거리	4지	4현시	22(3)	150	1개소(총 3개소)
4	장암사거리	4지	4현시	24(3)	150	1개소(총 2개소)
5	표교교차로	4지	4현시	34(3)	150	2개소(총 4개소)
6	물류단지교차로	3지	3현시	26(3)	150	2개소(총 3개소)



[그림 3-1] 연구 대상지 위치도

2. 연구 대상지 일반 현황

1) 도로 현황

서이천로는 [표 3-6] 및 [그림 3-2]과 같이 이천시를 남북으로 관통하는 주요 간선도로이며, 중부고속도로, 42호선과 접속되어 있으며 서이천IC를 중심으로 11개 교차로(수남삼거리~물류단지교차로)가 있으며, 연장은 총 6.2km이며 단속류와 연속류의 특성을 가지고 있다.

[표 3-6] 서이천로 도로 현황

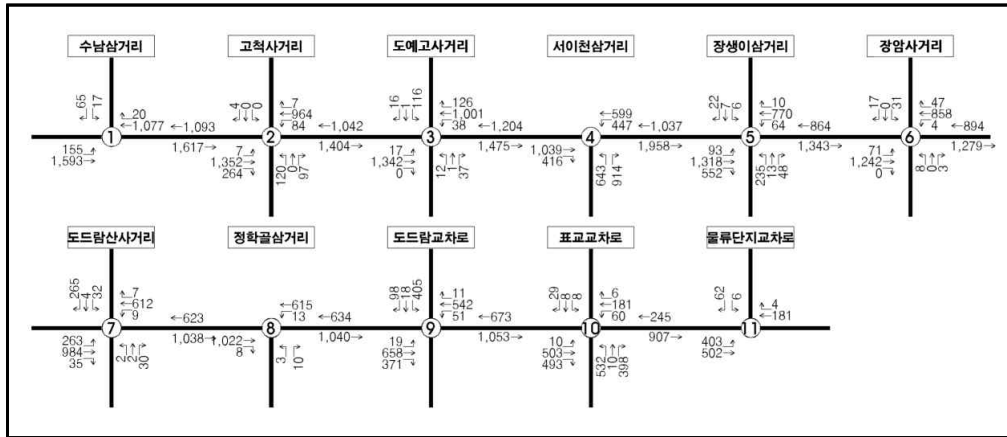
구간	총연장	차로수(왕복)	연결도로	비고
서이천로	6.2 km	4	■ 국도 42호선 ■ 중부고속도로 ■ 영동고속도로	-



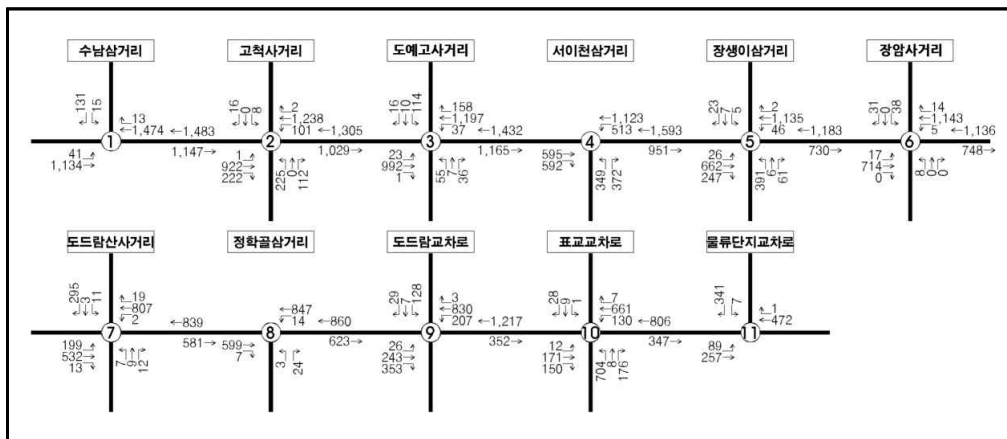
[그림 3-2] 서이천로 도로현황

2) 교통량 현황

오전, 오후, 비첨두시 교통량 현황을 조사한 결과 출·퇴근시 일정한 통행패턴을 지닌 것으로 나타났다. [그림 3-3], [그림 3-4], [그림 3-5]는 오전첨두, 오후첨두, 비첨두 시간대 교통량 현황도³¹⁾이다.

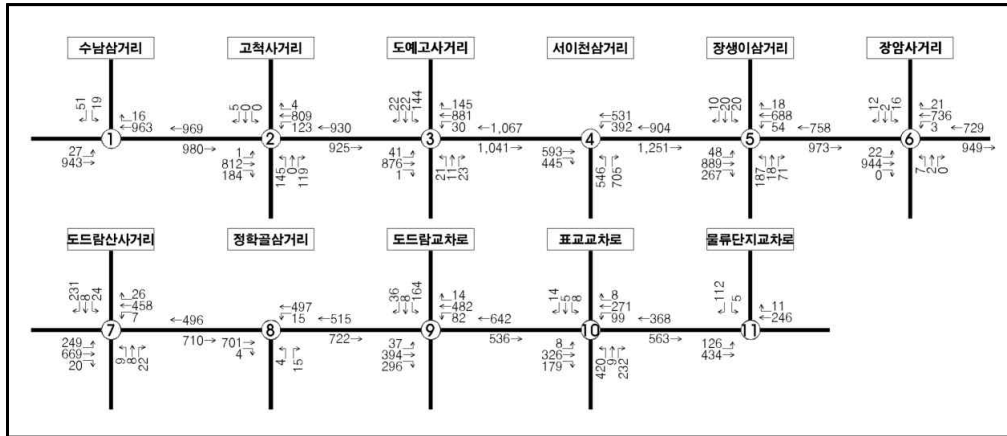


[그림 3-3] 교통량 현황도(오전첨두 08:00~09:00, pcu/h)



[그림 3-4] 교통량 현황도(오후첨두 17:30~19:30, pcu/h)

31) 출처 : 이천시(2021), 이천시 감응신호시스템 교통신호DB구축 및 사전사후평가 보고서



[그림 3-5] 교통량 현황도(비첨두 12:00~13:00, pcu/h)

3) 교차로 서비스 수준

교차로 분석결과는 [표 3-7]과 같이 교통량이 높은 장생이삼거리 및 고척사거리, 장암삼거리의 평균제어지체가 높게 나타났다.

[표 3-7] 서비스 수준 분석 결과

구분	교차로명	교통량(pcu)			평균제어지체(초/대)/서비스수준		
		오전첨두	오후첨두	비첨두	오전첨두	오후첨두	비첨두
1	수남삼거리	2,887	2,808	2,019	13.3 / A	12.9 / A	10.2 / A
2	고척사거리	2,899	2,847	2,202	32.4 / C	41.8 / C	35.9 / C
3	도예고사거리	2,707	2,646	2,217	26.9 / B	30.0 / B	36.7 / C
4	서이천삼거리(제외)	4,058	3,544	3,212	51.2 / D	40.2 / C	43.6 / C
5	장생이삼거리	3,138	2,611	2,290	56.5 / D	108.5 / F	41.4 / C
6	장암삼거리	2,281	1,970	1,765	73.7 / E	193.2 / F	39.0 / C
7	도드람산사거리	2,245	1,909	1,731	36.2 / C	33.5 / C	35.4 / C
8	정학골삼거리	1,671	1,494	1,236	5.6 / A	5.4 / A	6.2 / A
9	도드람교차로	2,173	1,826	1,513	75.1 / E	128.1 / F	27.4 / B
10	표교교차로	2,238	2,057	1,579	62.4 / D	72.2 / E	47.5 / C
11	물류단지교차로	1,538	1,659	1,141	79.8 / E	56.4 / D	25.9 / B

출처 : 이천시(2021), 이천시 감응신호시스템 교통신호DB구축 및 사전·사후평가 보고서

3. 감응신호 구축 현황

1) 공간적 범위

서이천로(수남삼거리~물류단지교차로)에 위치하고 있는 11개 교차로 중 10개 교차로에 감응신호시스템이 구축되어 있으며 [표 3-8]은 지점별 교차로 현황이며 [그림 3-6]은 감응신호 구축 교차로 위치도이다. 이 중에서 서이천삼거리는 고속도로 진입차량이 많아 감응신호시스템 효과 미비함에 따라 감응신호시스템이 미구축된 교차로이다.

[표 3-8] 서이천로 감응신호 구축 교차로 현황

구분	교차로명	기하구조	교차로간거리(m)	횡단보도	신호현시	비고
1	수남삼거리	3지	-	○	3현시	차량/보행감응
2	고척사거리	4지	498	○	4현시	차량/보행감응
3	도예고사거리	4지	1,530	○	4현시	차량/보행감응
4	서이천삼거리	3지	356	-	4현시	감응시스템 미설치
5	장생이삼거리	4지	324	○	4현시	차량감응
6	장암삼거리	4지	540	○	3현시	차량/보행감응
7	도드람산사거리	4지	981	-	4현시	차량감응
8	정학골삼거리	3지	1,430	-	3현시	차량감응
9	도드람교차로	4지	81	○	3현시	차량/보행감응
10	표교교차로	4지	166	○	4현시	차량/보행감응
11	물류단지교차로	3지	325	○	4현시	차량/보행감응

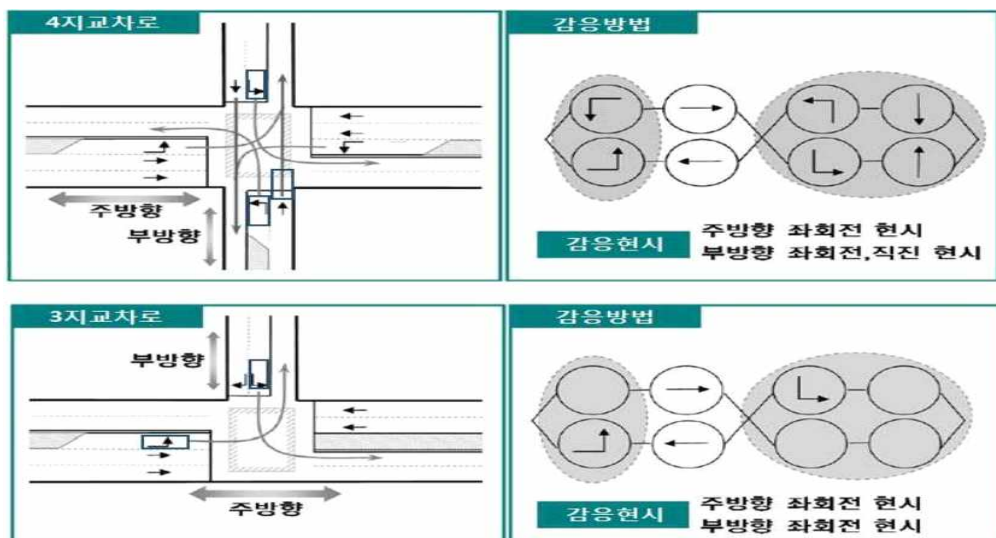
출처 : 이천시(2021), 이천시 감응신호시스템 교통신호DB구축 및 사전·사후평가 보고서

로로 부도로 교통량이 많아 경찰에서 감응신호시스템 도입 제외 요청 지점이다.

4) 서이천로 감응신호제어시스템 적용 기준

가) 교통신호제어기

제어기는 2010년형 CALL기반 감응제어방식이 적용되었고 좌회전감응제어와 2010년식 현시생략 감응제어는 옵션으로 구분되며, 현시생략감응제어는 주기유지 및 주기무시 옵션이 추가적으로 작용하고 현시단위로 감응 유무를 적용하였다. 2010년형 교통신호기의 CALL 기반 감응제어의 3가지의 기본전제는 다음과 같다. 첫째, 주 현시는 생략할 수 없고, 둘째, 조기종결 또는 생략된 현시 길이는 다음 현시로 전가되나 주기 무시감응에서는 그렇지 아니다. 셋째, 최소동시신호 유지시간과 Barrier 조건은 직진감응 및 현시생략 시에도 준수된다. TOD 기반으로 운영되며, 고정된 주기 적용으로 연동이 가능하고 조기종결 및 생략으로 발생하는 잔여시간은 주방향 현시로 확대 적용하였다. 감응제어 방법은 [그림 3-7]과 같다.



[그림 3-7] 감응제어 방법

출처 : 이천시(2020), 이천시 감응신호시스템 구축 실시설계 용역 보고서

나) 루프검지기

서이천로 감응신호시스템 검지기 설치기준은 감응신호시스템 기본계획의 검지기 설치기준을 바탕으로 서이천로의 교통 및 도로(기하구조) 현황을 고려하여 재정립된 설치기준은 [표 3-9]와 같다.

[표 3-9] 감응신호시스템 검지기 설치기준

구분	설치기준
기본계획	■ 8각 검지기는 정지선으로부터 2m, 장방향 검지기는 4m 떨어진 위치에 설치 ■ 전용좌회전 차로와 유턴이 가능한 좌회전 차로에는 유턴차량을 감지할 수 있는 장방향(1.8m × 5.0m) 검지기 설치 ■ 이륜차가 많은 구간에는 이륜차검지기 설치(Diagonal-Quadrupole) ■ 검지기 설치여건에 따라 대체검지기 활용
적용기준	■ 감응신호시스템 검지기는 정지선으로부터 2m 이격하여 8각 검지기 설치 ■ 전용좌회전 차로와 유턴이 가능한 좌회전 차로에는 유턴차량 감지를 위해 필요시 유턴 가능 시작지점에 8각 검지기를 추가 설치 ■ 이륜차가 많은 구간에는 이륜차검지기 설치(Diagonal-Quadrupole) ■ 대체검지기는 금번 설계에 반영하지 않음

출처 : 이천시(2020), 이천시 감응신호시스템 구축 실시설계 용역 보고서

다) 보행자작동신호기(Push-Button)

(1) 디자인

이천시 감응신호시스템 구축에 도입된 보행자작동신호기의 디자인은 [그림

3-8]의 디자인을 적용하였고 기본적으로 보행신호등 지주에 설치하나, 보행자가 인식하기 어렵고 지주의 위치가 접근성이 저하된다고 판단되는 경우 보행자작동신호기 전용지주를 별도로 설치하였다.



[그림 3-8] 보행자작동신호기 디자인

출처 : 이천시(2020), 이천시 감응신호시스템 구축 실시설계 용역 보고서

(2) 동작순서

보행자 작동신호기는 음성안내가 양방향으로 출력되어 버튼 입력 전, 입력 후, 보행자 신호 등화로 구분하여 각각 상황에 맞는 음성안내를 표출한다. 또한, [그림 3-9]와 같이 각 상황별로 LED등의 등화방법을 달리하여 보행자가 보행자작동신호기가 입력되었는지 파악할 수 있도록 상황별 등화방법을 다르게 설정하였다.



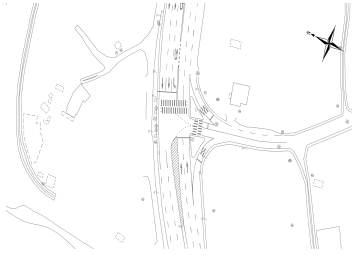
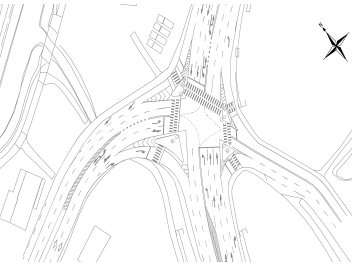
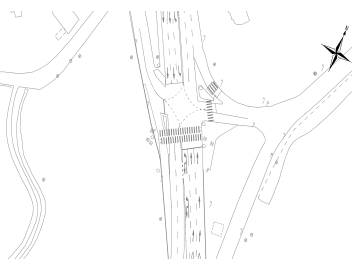
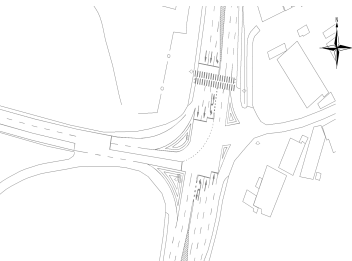
[그림 3-9] 보행자작동신호기 동작순서

출처 : 이천시(2020), 이천시 감응신호시스템 구축 실시설계 용역 보고서

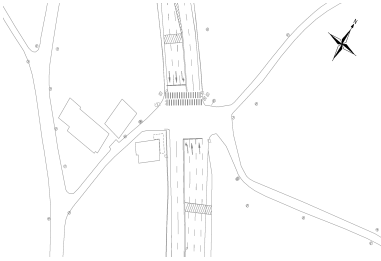
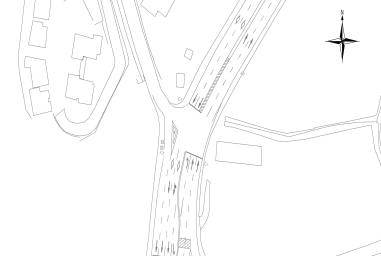
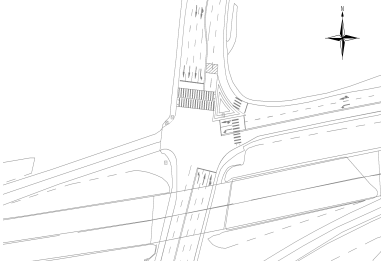
5) 서이천로 감응신호 현시체계 및 신호시간

서이천로 10개 교차로에 구축된 감응신호 현시체계 및 신호시간은 [표 3-10]과 같다.

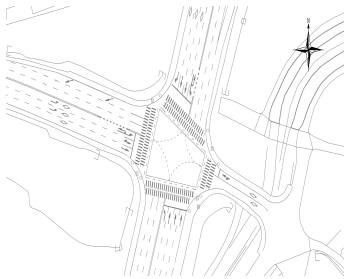
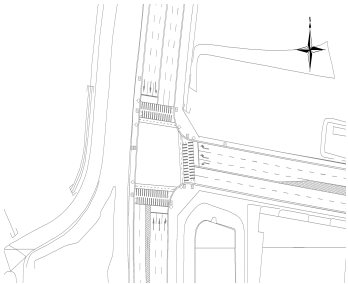
[표 3-10] 서이천로 감응신호 현시체계 및 신호시간 현황

기하구조 현황	현시체계 및 신호시간						
1. 수남삼거리	구분	1현시	2현시	3현시	4현시	연동값	주기
	현시				-		
	시간대						
	06:00	23	27	100		65	150
	09:00	20	27	103		65	150
	23:00	20	27	73		74	120
2. 고척사거리	구분	1현시	2현시	3현시	4현시	연동값	주기
	현시						
	시간대						
	06:00	20	25	25	80	79	150
	09:00	25	25	25	75	79	150
	23:00	25	25	25	75	67	120
3. 도예고사거리	구분	1현시	2현시	3현시	4현시	연동값	주기
	현시					150	
	시간대						
	06:00	20	20	25	85	140	150
	09:00	20	20	25	85	140	150
	23:00	20	20	25	55	1	120
4. 장생이삼거리	구분	1현시	2현시	3현시	4현시	연동값	주기
	현시						
	시간대						
	06:00	20	27	22	81	0	150
	09:00	20	27	22	81	0	150
	23:00	20	27	22	61	0	130

[표 계속]

기하구조 현황	현시체계 및 신호시간						
5. 장암삼거리	구분	1현시	2현시	3현시	4현시	연동값	주기
	현시						
	시간대						
	06:00	20	27	22	81	0	150
	09:00	20	27	22	81	0	150
	23:00	20	27	22	61	0	130
6. 도드람산사거리	구분	1현시	2현시	3현시	4현시	연동값	주기
	현시						
	시간대						
	06:00	32	20	23	75	84	150
	09:00	30	20	23	77	80	150
	23:00	20	20	23	67	80	130
7. 정학골삼거리	구분	1현시	2현시	3현시	4현시	연동값	주기
	현시						
	시간대						
	06:00	20	20	110		0	150
	09:00	20	20	110		0	150
	23:00	20	20	110		0	150
8. 도드람교차로	구분	1현시	2현시	3현시	4현시	연동값	주기
	현시						
	시간대						
	06:00	25	42	83		0	150
	09:00	25	42	83		0	150
	23:00	25	42	83		0	150

[표 계속]

기하구조 현황	현시체계 및 신호시간						
9. 표교교차로	구분	1현시	2현시	3현시	4현시	연동값	주기
	현시						
	시간대						
	06:00	25	35	37	53	15	150
	09:00	25	35	37	53	15	150
	23:00	25	35	37	53	15	150
10. 물류단지교차로	구분	1현시	2현시	3현시	4현시	연동값	주기
	현시						
	시간대						
	07:30	29	29	92		0	150
	10:00	29	29	92		0	150

출처 : 이천시(2020), 이천시 감응신호시스템 구축 실시설계 용역 보고서

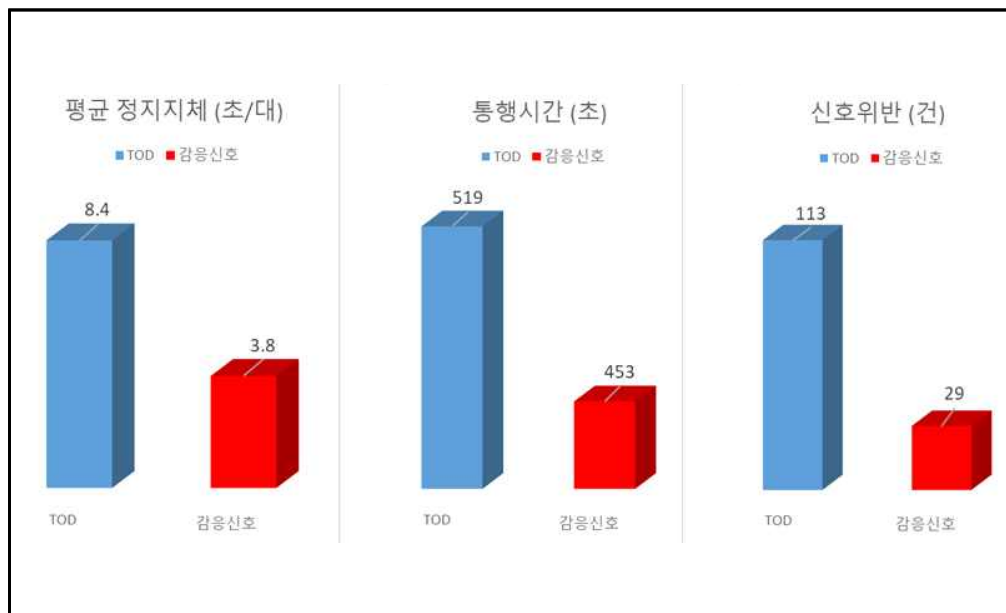
6) 감응신호 구축 사전·사후 평가 결과

서이천로에 구축된 감응신호시스템에 대한 효과평가 결과 [표 3-11] 및 [그림 3-10]과 같이 평균정지지체는 54.7%, 통행시간은 14.6% 각각 감소하였다.

[표 3-11] 감응신호시스템 사전·사후 평가결과

구분	TOD	감응신호	변화량		비고
			변화량	변화율	
평균 정지지체 (초/대)	8.4	3.8	4.6 ▼	54.7% ▼	-
통행시간 (초)	519	453	66 ▼	14.6% ▼	-
신호위반 (건)	113	29	84 ▼	74.3% ▼	-

출처 : 이천시(2020), 이천시 감응신호시스템 구축 실시설계 용역 보고서



[그림 3-10] 감응신호시스템 사전·사후 평가결과

출처 : 이천시(2020), 이천시 감응신호시스템 구축 실시설계 용역 보고서

제 2 절 횡단보행자수 및 보행대기시간

1. 조사 방법 및 내용

앞서 서론과 이론적 배경에서 언급한 바와 같이 좌회전 감응신호 구간에서 보행자감응제어의 경우는 차량의 지체를 최소화하기 위한 제어기법 이라서 상대적으로 보행대기시간은 영향을 받을 수밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 실질적으로 서이천로의 연구대상지 6개 교차로를 대상으로 좌회전감응신호 적용 후 보행대기시간에 어떠한 변화가 있었는지 분석하고 이것이 보행자 만족도에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하기 위해 보행대기시간 조사가 필요했다.

보행대기시간 조사는 좌회전감응신호 적용 전인 2020년 11월 5일, 적용 후인 2020년 12월 16일에 오전첨두(07:00~09:00), 비첨두(12:00~14:00), 오후첨두(18:00~20:00)로 나누어 각각 수행하였다. 보행대기시간 데이터 수집방법은 대상지 6개 교차로의 횡단보도 신호등 철주 상단에 영상수집장치를 설치하여 보행자가 횡단보도에 도착 후 보행신호가 등화하는 시간까지의 대기시간을 측정하였다. 영상수집장치는 보행자가 횡단보도 도착 후 보행자작동신호기 버튼을 누르고 그 후에 보행신호가 등화되는 것이 모두 확인 가능하도록 설치 각도를 조절하여 설치하였고 동영상자료에 시간이 표출되기 때문에 횡단보도에 보행자가 도착한 시간과 보행자작동신호기를 누른 후 보행신호가 등화된 시간을 산출하여 데이터를 작성하였다.

2. 조사 결과 분석

조사된 자료의 분석결과 횡단보행자수는 [표 3-12]와 같이 오전첨두 95%, 비첨두 17%, 오후첨두 44%로 사전보다는 사후에 모두 증가하였다. 보행대기시간의 경우 [표 3-13]과 같이 좌회전감응신호 적용 후에 오전첨두 11%, 비첨두 37%, 오후첨두 47%가 각각 증가함으로써 좌회전감응신호 적용 후에 보행자의 보행대기시간은 크게 증가한 것으로 분석되었다. 특히 비첨두 및 오후 첨

두시의 보행대기시간은 오전첨두보다 크게 늘었는데 이는 비첨두 및 오후 첨두시에 횡단보도에 도착한 보행자는 오전 첨두에 도착한 보행자에 비해 더 오래 대기하였다는 것을 보여주고 있다.

[표 3-12] 횡단보행자 수

구분	교차로명	횡단 보행자수(인)								
		오전첨두(07~09)			비첨두(12~14)			오후첨두(18~20)		
		사전	사후	변화율	사전	사후	변화율	사전	사후	변화율
1	수남삼거리	4	4	0%	6	7	17%	1	7	600%
2	고척사거리	2	3	50%	2	2	0%	1	1	0%
3	도예고사거리	4	9	125%	28	23	-18%	3	7	133%
4	장암사거리	4	11	175%	2	9	350%	3	2	-33%
5	표교교차로	4	6	50%	2	5	150%	9	7	-22%
6	물류단지교차로	1	4	300%	1	2	100%	1	2	100%
	계	19	37	95%	41	48	17%	18	26	44%

[표 3-13] 보행 평균대기시간 분석 결과

구분	교차로명	보행 평균대기시간(sec)								
		오전첨두(07~09)			비첨두(12~14)			오후첨두(18~20)		
		사전	사후	변화율	사전	사후	변화율	사전	사후	변화율
1	수남삼거리	48	48	0%	57	82	44%	20	76	280%
2	고척사거리	65	82	26%	35	69	97%	43	63	47%
3	도예고사거리	91	54	-41%	64	70	9%	83	53	-36%
4	장암사거리	30	72	140%	30	56	87%	55	95	73%
5	표교교차로	42	32	-24%	35	67	91%	45	71	58%
6	물류단지교차로	24	44	83%	78	66	-15%	57	87	53%
	계	300	332	11%	299	410	37%	303	445	47%

제 3 절 좌회전감응신호 적용 후 횡단보도 대기시간 만족도

1. 설문조사 방법 및 내용

설문조사는 좌회전감응신호 적용 후인 2000년 12월 16일(수) 실시하였으며 보행자작동신호기가 설치된 횡단보도에서 보행자작동신호기 버튼을 누른 후 보행신호가 등화되어 보행을 완료한 사람을 대상으로 하였고 조사방법은 조사 대상자인 횡단 보행자와 일대일 면접 방식으로 진행하였다. 조사원은 사전에 감응신호운영에 대한 교육을 통해 관련 내용을 숙지토록 하였고 교차로별로 횡단보도에 2명씩 배치하였으며 1명은 횡단보도 시작점에 나머지 1명은 횡단보도 끝나는 지점에 배치하여 양방향 횡단 보행자를 모두 조사할 수 있게 하였다. 설문 내용은 부록에 첨부하였고 주요 내용은 인적사항, 보행자작동신호기 운영의 편리성 여부, 좌회전감응신호 적용 후 횡단보도 대기시간의 정도 및 이로 인한 스트레스 여부, 좌회전감응신호운영에 있어 개선사항 등을 포함하였다. 설문지는 부록에 제시하였다.

2. 설문조사 결과 분석

설문조사는 횡단보도를 건넌 보행자 113명중 설문조사에 응한 66명을 대상으로 하였다. 조사된 자료의 PART-1 기본 인적사항을 살펴보면 성별 분포는 남성 42명(63.6%), 여성 24명(36.4%)으로 구성되었고 연령별 분포는 20대 이하 2명(3.03%), 20대 10명(15.15%), 30대 18명(27.27%), 40대 16명(24.24%), 50대 10명(15.15%), 60대 이상 10명(15.15%)로 나타났고 응답자의 직업은 노무직 24명(36.4%)으로 가장 많았고 사무직 13명(19.7%), 농업 12명(18.2%), 주부 5명(7.6%), 학생 4명(6.1%), 관리직 4명(6.1%), 상업 2명(3.0%), 기술직 1명(1.5%), 기타 1명(1.5%) 순으로 나타났다. 세부 도표는 부록에 제시하였다.

다음은 좌회전감응신호 적용 후 횡단보도 대기시간 만족도 설문조사 분석 결

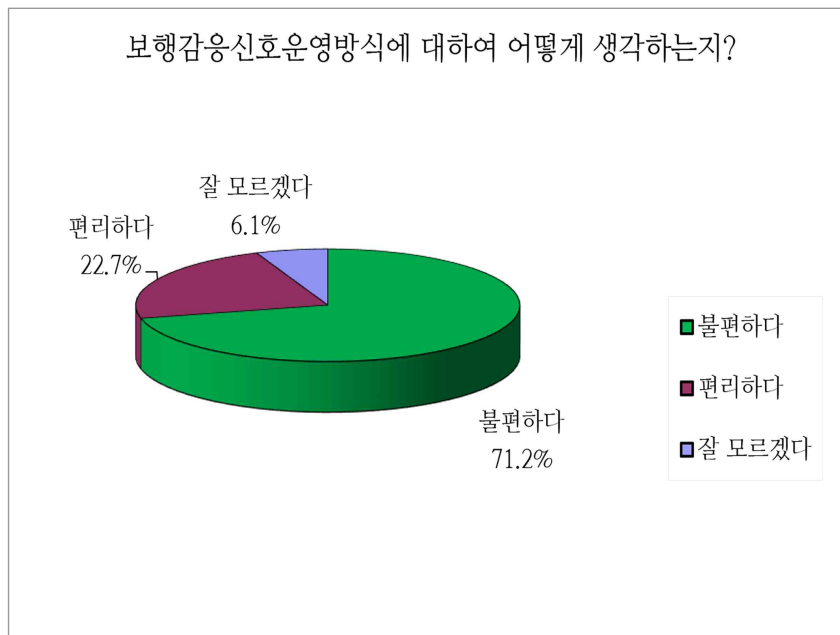
과이다. 항목별 결과를 살펴보면 다음과 같다.

1) 보행자감응신호 운영방식의 편리성 여부

응답자의 71.2%는 보행자감응신호 운영으로 불편함을 느끼는 것으로 나타났다.

[표 3-14] 보행자감응신호 운영방식의 편리성 여부

보행자감응신호 운영방식의 편리성 여부	빈도	%
불편하다	47	71.2
편리하다	15	22.7
잘 모르겠다	4	6.1
계	66	100.0



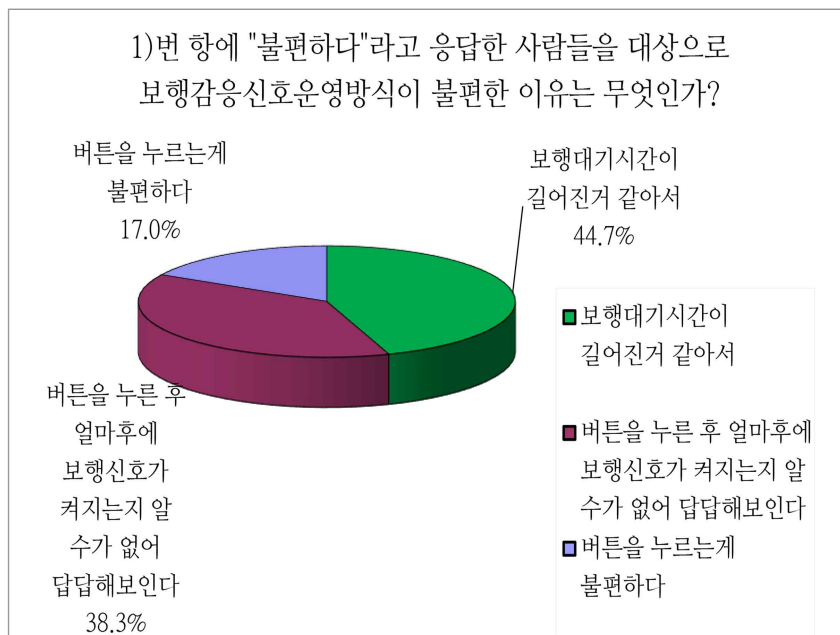
[그림 3-11] 보행자감응신호 운영방식의 편리성 여부

2) 보행자감응신호 운영이 불편한 이유

1)번 항에 불편하다고 응답한 사람을 대상으로 불편한 이유에 대한 응답 결과는 “보행대기시간이 길어진 거 같아서”가 가장 많은 44.7%를 차지하는 것으로 나타났다.

[표 3-15] 보행자감응신호 운영이 불편한 이유

보행자감응신호 운영이 불편한 이유	빈도	%
보행대기시간이 길어진거 같다	21	44.7
버튼을 누른 후 얼마 후에 보행신호가 켜지는지 알 수가 없어 답답해 보인다	18	38.3
잘 모르겠다	8	17.0
계	47	100.0



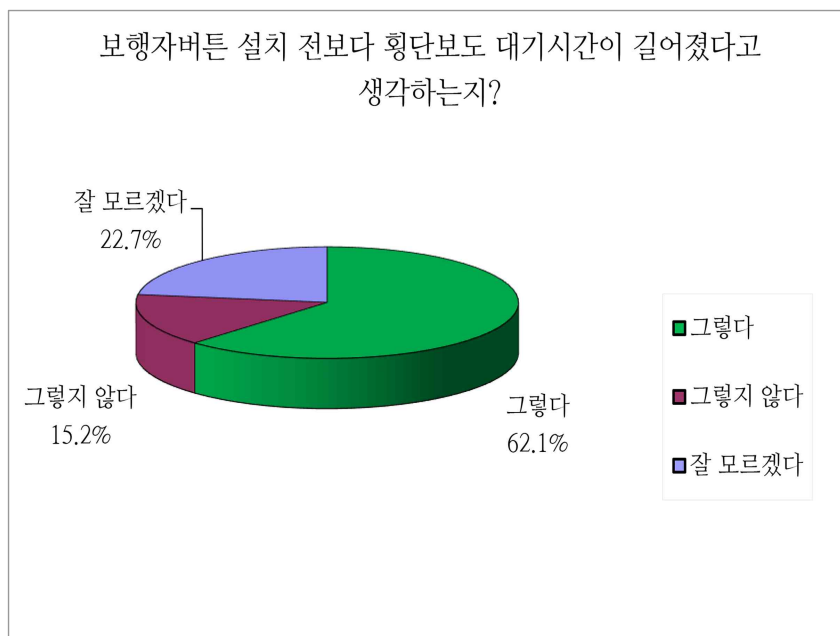
[그림 3-12] 보행자감응신호 운영이 불편한 이유

3) 보행자버튼 설치 전보다 횡단보도 대기시간이 길어졌는지 여부

보행자버튼 설치 전보다 횡단보도 대기시간이 길어졌는지 여부에 대한 조사결과 “길어졌다”가 62.1%로 나타났다.

[표 3-16] 보행자버튼 설치 전보다 횡단보도 대기시간이 길어졌는지 여부

보행자버튼 설치 전보다 횡단보도 대기시간이 길어졌다	빈도	%
그렇다	41	62.1
그렇지 않다	10	15.2
잘 모르겠다	15	22.7
계	66	100.0



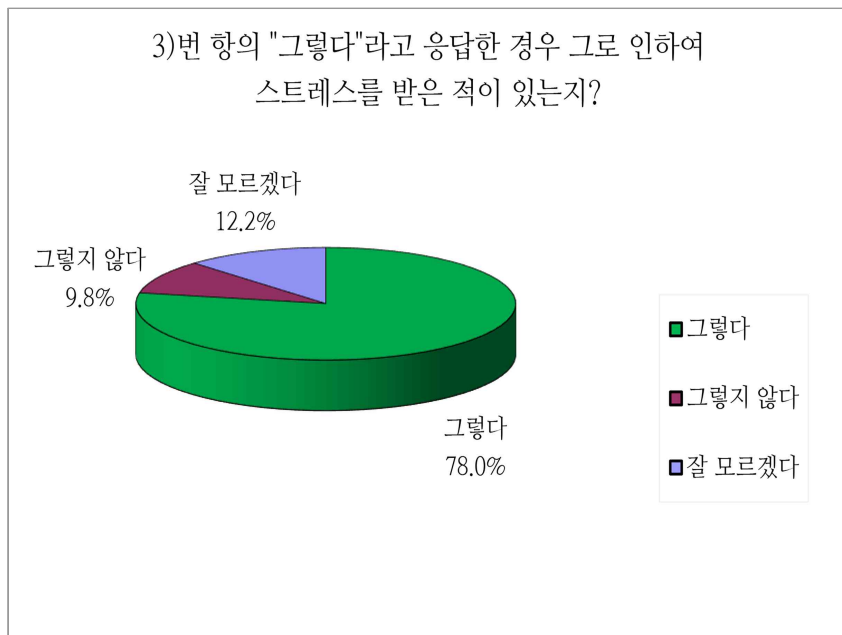
[그림 3-13] 보행자버튼 설치 전보다 횡단보도 대기시간이 길어졌는지 여부

4) 보행대기시간이 길어져 스트레스를 받은 적이 있는지 여부

3)번 항에 보행대기시간이 길어졌다고 응답한 사람을 대상으로 그로 인하여 스트레스를 받았는지 여부에 대한 설문조사 결과 78.0%가 스트레스를 받은 것으로 나타났다. 스트레스를 받지 않은 사람에 비해 거의 8배가 넘는 사람이 스트레스를 받은 것으로 분석되었다.

[표 3-17] 보행대기시간이 길어져 스트레스를 받은 적이 있는지 여부

보행대기시간이 길어져 스트레스를 받은 적이 있는지 여부	빈도	%
그렇다	32	78.0
그렇지 않다	4	9.8
잘 모르겠다	5	12.2
계	41	100.0



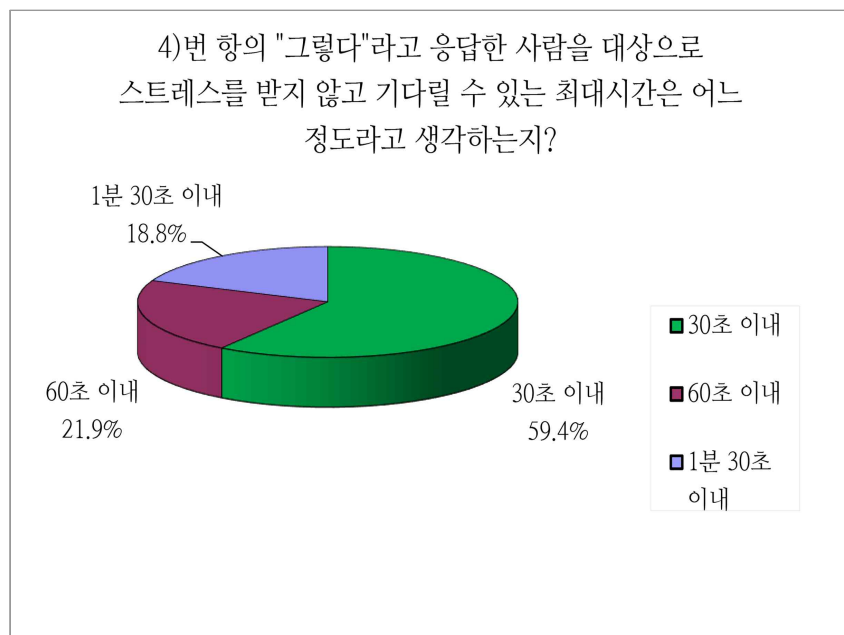
[그림 3-14] 보행대기시간이 길어져 스트레스를 받은 적이 있는지 여부

5) 스트레스를 받지 않고 기다릴 수 있는 최대시간

4)번 항에 스트레스를 받은 사람 32명을 대상으로 스트레스를 받지 않고 기다릴 수 있는 최대시간에 대한 응답 조사 결과 30초 이내가 59.4%, 60초 이내가 21.9%, 1분 30초 이내가 18.8%로 나타났다. 응답자 중 80% 이상은 60초가 넘으면 스트레스를 받는 것으로 분석되었다.

[표 3-18] 스트레스를 받지 않고 기다릴 수 있는 최대시간

스트레스를 받지 않고 기다릴 수 있는 최대시간	빈도	%
30초 이내	19	59.4
60초 이내	7	21.9
1분 30초 이내	6	18.7
계	32	100.0



[그림 3-15] 스트레스를 받지 않고 기다릴 수 있는 최대시간

그 외에 설문에 응한 보행자들의 63.6%는 차량지체가 다소 있더라도 횡단보도 대기시간이 짧아지기를 하는 것으로 조사되었으며 보행자작동신호기 운영에 대한 개선 및 제안사항으로는 버튼을 누르면 10초 이내에 보행신호가 나오기를 바라는 의견이 29.2%, 보행자버튼을 누르면 보행신호가 몇 초 후에 켜지는지 알려주는 장치가 있었으면 좋겠다가 39.6%, 보행자를 자동으로 인식하는 시스템이 설치되기를 바라는 의견이 16.7%, 버튼 고장 시에도 횡단보도 이용에 불편이 없게 운영이 되어야 한다가 14.5%로 나타났다.

마지막으로 설문조사가 진행된 해당 교차로에 대한 이용횟수 설문조사에서 응답자의 68.2%은 1주일에 3회 이상 횡단보도를 이용하고 있는 것으로 나타나 적어도 이들은 해당 교차로의 보행신호 운영 현황을 잘 인지하고 있는 것으로 판단된다.

아울러 <표 3-18>과 관련하여 응답자 32명의 응답 결과를 토대로 보행자가 스트레스를 받는 보행대기시간을 수식은 공식(1)과 같이 가중평균값으로 산출한 결과 47.8초로 나타났다. (여기서 T 는 스트레스 유발 보행대기시간 가중평균값, T_i 는 스트레스 유발 i 보행대기시간, P_i 는 스트레스 받은 i 응답자수)

$$T = \frac{(T_1 \times P_1) + (T_2 \times P_2) + (T_3 \times P_3)}{(P_1 + P_2 + P_3)} \quad (1)$$

비록 본 설문조사 결과는 이천시를 생활권으로 두고 있으며 서이천로 횡단보도를 이용하는 모든 보행자를 대표할 수는 없었지만 조사에 응한 응답자들 중 68.3%가 해당 교차로의 횡단보도를 주 3회 이상 이용하고 있어 적어도 응답자들은 해당 신호교차로의 기하구조 및 보행신호 운영 체계에 매우 익숙한 이용자들이라는 판단은 가능하며 누구보다도 보행대기시간에 대한 민감성은 충분히 견지하고 있는 것으로 판단된다.

횡단보도 이용자가 보행대기시간으로 인하여 스트레스를 받는 시간이 공학적으로 지수화 되어 정립된 자료를 찾을 수는 없었지만 적어도 선행 연구에서 장덕명 외(1998)는 도시부 보행자 교통신호기 설치기준 연구에서 제시된 “보행자는 횡단 대시시간 30초부터는 인내심이 없게 되며, 40초 후에는 보도

의 연석에서 차로로 내려온다는 외국의 연구결과를 제시하였고, 미국의 보행자 대기시간에 관한 보고서에서는 보행자가 기다릴 수 있는 최대한도의 시간을 60초로 가정하였다고 제시”한 결과와 더불어 경찰청 교통신호기 설치관리 매뉴얼에 “보행자의 최대 대기시간은 가능한 60초 이내가 유지되도록 권고하고 있다. 그러나 이는 일반적으로 일반도로의 교차로 포화도가 높은 현실과 비교할 때 반드시 맞아 떨어지는 시간이라고 단정할 수는 없지만 적어도 보행자 측면에서의 간접적인 적정 대기시간의 준거는 될 수 있다. 따라서 위의 2건의 선행연구 문헌에 언급된 적정 보행 대기시간을 기초로 [표 3-13]에서 보행 평균대기시간이 60초가 넘는 12개 Case의 경우는 스트레스를 받은 것으로 판단된다.

제 4 장 보행자우선 감응신호 제어 전략

제 1 절 신호 운영 개념 및 전략

기존 서이천로 감응신호 구간에서 보행자를 중심으로 보행자의 지체를 최소화시키는 것을 목적으로 보행자 대기시간을 고려한 보행자우선 감응신호 제어 전략을 수립하였다. 또한 기본적인 차량의 지체는 최소화하는 범위 내에서 수행할 수 있도록 전략을 수립하였다.

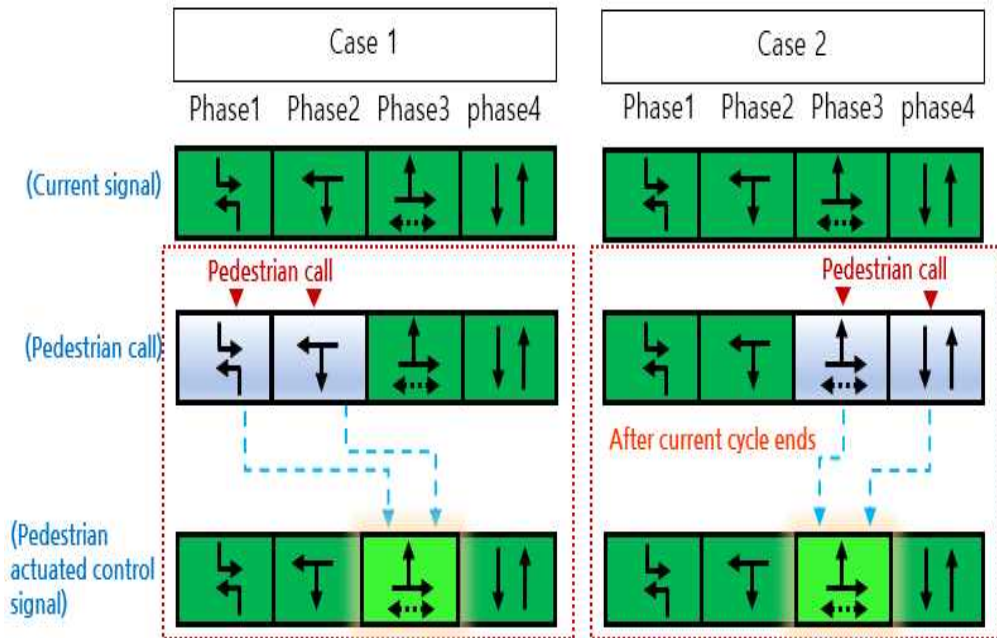
1. 보행자 감응신호 개념

기존의 3현시(보행신호) 동작 개념은 [표 4-1]과 같고 [그림 4-1]은 개념도이다. 1현시와 2현시에 보행 CALL 검지 시 2현시 종료 후 3현시(보행신호) 동작하고 3현시와 4현시에 보행 CALL 검지 시 1주기가 종료된 후 1현시→2현시 →3현시(보행신호)→4현시 순으로 동작된다. 즉 이 경우 보행자는 마지막 4현시 종료 후 다음 주기 1, 2현시 종료 후까지 기다려야 보행신호를 받을 수 있다.

[표 4-1] 보행자 감응신호 개념

구분	보행자 CALL 검지	신호 현시 운영 순서
Case 1	1현시 & 2현시	1현시 → 2현시 → 3현시(보행신호) → 4현시
Case 2	3현시 & 4현시	1주기 종료 후, 1현시 → 2현시 → 3현시(보행신호) → 4현시

출처 : 최봉수 외(2022), 보행대기시간과 보행자스트레스를 고려한 보행자우선 감응신호 운영
영방안 연구



[그림 4-1] 보행자 감응신호 개념도

출처 : 최봉수 외(2022), 보행대기시간과 보행자스트레스를 고려한 보행자우선 감응신호 운영 방안 연구

2. 보행자우선 감응신호 개념 및 전략

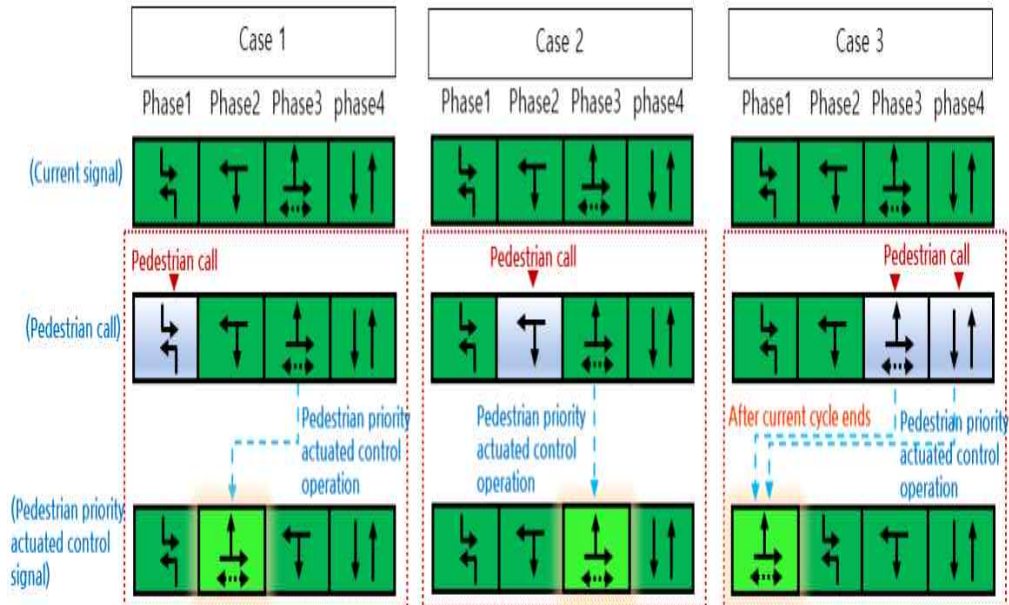
기존 보행감응신호 개념을 개선한 보행자우선 감응신호 개념은 보행현시인 3현시 보행신호 등화 조건은 [표 4-2]와 같다. Case 1의 경우 1현시에 보행자 CALL이 검지되면 3현시(보행신호)가 2현시 보다 먼저 운영되고 다음에 2현시와 4현시가 이어서 운영된다. Case 2의 경우 2현시에 보행자 CALL이 검지되면 2현시 종료 후 3현시(보행신호)와 4현시가 운영된다. 마지막으로 Case 3의 경우 3현시와 4현시에 보행자 CALL이 검지되면 당해 주기가 종료된 후 다음 주기에 3현시(보행신호)가 가장 먼저 운영되고 그 다음 1현시, 2현시, 4현시 순으로 신호가 운영된다. [그림 4-2]는 Case별 보행자우선 감응신호 개념을 도식화한 개념도이다.

[표 4-2] Case별 보행자우선 감응신호 개념

구분	보행자 CALL 검지	신호 현시 운영 순서
Case 1	1현시	1현시 → 3현시(보행신호) → 2현시 → 4현시
Case 2	2현시	1현시 → 2현시 → 3현시(보행신호) → 4현시
Case 3	3현시 & 4현시	1주기 종료 후, 3현시(보행신호) → 1현시 → 2현시 → 4현시

출처 : 최봉수 외(2022), 보행대기시간과 보행자스트레스를 고려한 보행자우선 감응신호 운영 방안 연구

여기서, Case 3의 경우 1주기 종료 후 3현시가 1현시 다음에 표출되게 하는 것은 옵션에 따라 설정 가능하다.



[그림 4-2] Case별 보행자우선 감응신호 개념도

출처 : 최봉수 외(2022), 보행대기시간과 보행자스트레스를 고려한 보행자우선 감응신호 운영 방안 연구

제 2 절 보행자우선 감응신호 운영 알고리즘

2장 관련 이론 검토에서 감응신호제어 알고리즘을 살펴본 바와 같이 감응신호제어 알고리즘에는 완전감응제어, 반감응제어, 교통량-밀도제어 알고리즘으로 분류될 수 있다. 그 중에서 국도 감응신호제어에 반영된 알고리즘은 주로 좌회전, 부도로 및 보행자감응제어에 적용된 반감응제어 알고리즘이다. 반감응제어 알고리즘은 차량검지기와 보행자작동신호기의 CALL을 기반으로 하는 감응신호운영 알고리즘이며 세부적으로는 좌회전감응제어 및 보행자감응제어 기능이 구현 가능하다. 또한 완전감응제어와는 달리 신호주기 값이 고정되어 있고 현시 변경이 제한되어 있다. 이 제어 기법은 국도 상에서 주로 차량의 지체를 최소화하는 데 매우 효과적인 것은 기존의 여러 문헌을 통해서 입증되었다. 하지만 보행자 측면에서는 보행대기시간이 증가할 수밖에 없는 단점도 동시에 존재한다.

따라서 본 연구에서는 기존 국도감응제어에서 적용하고 있는 반감응신호제어 알고리즘의 제어기법 중 보행자감응제어의 기능을 일부 개선하여 보행자 관점에서의 우선신호 기법을 적용하고자 한다. 본 연구에서 다루고자하는 반감응신호제어 기법 중 보행자감응제어 알고리즘의 자료 근거는 경찰청 교통신호제어기 표준규격서(2021)에 제시되어 있으며 이인규 외(2002), 김승진 외(2013), 김남선(2010)등의 선행 연구자들의 논문 및 문헌에도 제시된 바 있다.

이와 유사한 우선신호 제어기법에는 긴급차량우선신호와 BRT(간선급행버스체계) 우선신호가 있다. 긴급차량우선신호 제어기법 알고리즘은 경찰청 교통신호제어기 설치운영 업무편람에 제시되어 있다.

긴급차량 우선신호는 소방차와 같은 긴급차량이 신호교차로 진입 시 녹색시간을 적시에 제공하게 하는 신호체계를 말한다. 그 중 현장제어방식은 교차로의 검지시스템을 통해 차량의 유무를 확인하고 신호제어기를 통해 능동적으로 우선신호 제어를 수행하는 방식이다. 긴급차량 우선신호 기법에는 조기녹색시간(early green time), 녹색시간연장(green time extension), 현시삽입(phase insert), 현시생략(phase skipping), 현시순서변경(phase sequence

change) 등 5가지의 기법으로 구성되어 있다. 이 중 기존 녹색시간연장(green time extension), 현시생략(phase skipping) 기법은 반감응제어 알고리즘이 포함하고 있는 기법이다. 현시삽입(phase insert)의 경우 주기 내 현시수가 증가하여 이로 인한 신호교차로 용량손실이 발생하는 단점이 있는 반면 현시순서변경(phase sequence change)은 신호주기와 현시 수를 유지하여 교차로 용량감소가 발생하지 않는다.

본 연구 알고리즘은 긴급차량우선신호 제어기법 중 현시순서변경(phase sequence change) 제어기법을 기존 반감응제어 알고리즘에 적용하고 이를 활용하여 보행현시 순서 변경에 초점을 둔 우선신호 개념이다. 그러나 긴급차량우선신호의 현시순서변경 및 현시삽입 등은 본 연구에서는 기존 신호주기를 유지하면서 보행대시시간을 줄일 수 있는 방법 가장 효율적인 방안은 보행현시전환이라고 판단하였다. 그 이유는 기존 반감응제어 알고리즘에서는 현시생략 및 녹색신호 조기 종료 제어가 가능하지만 이로 인한 잔여녹색시간은 주도로 차량 직진신호로 모두 부여되고 있는 제어방식이므로 그러한 제어 기법은 보행대기시간을 줄이는데 직접적으로 반영되지 못하는 한계를 갖고 있기 때문이다.

따라서 기존 현시나 주기를 크게 건들이지 않는 선이 신호를 관리하는 경찰청 입장에서도 받아들이기 쉽긴 하나 효과가 작을 것으로 판단되어 효과가 좀 있도록 감응식 신호설계 측면으로 접근하여 현시순서변경 기법을 감응식 신호운영방안에 적용하고자 하였으며 본 연구 대상지에 이러한 개념들을 정립하였을 때 보행자를 위한 보행자우선 감응신호를 운영하려면 현시를 전환하는 측면이 가장 효과가 좋을 것으로 판단하였다. 또한 본 보행자우선 감응신호 알고리즘은 신호주기를 고정한 상태에서 보행현시의 Case별로 대응하는 방식으로 반감응제어에 완전감응 기능이 일부 내재되어 있는 성격을 띠고 있다.

1. 신호 운영 변수

상기 설명한 보행우선 감응신호 개념도를 통해 필요한 신호 운영 변수는 아래와 같이 정의한다.

1) T_{green} : 현재 운영 중인 현시의 녹색시간이며 운영되고 있는 시간 계산은 $g = g + 1$ 로 설정한다. 최소녹색시간 확보 여부를 판단하고 최대녹색시간 초과 여부도 판단한다. 잔여 녹색시간 및 연장시간 산정 시 활용된다.

- 1현시 운영 시간 : $T_{green}(1)$
- 2현시 운영 시간 : $T_{green}(2)$
- 3현시 운영 시간 : $T_{green}(3)$
- 4현시 운영 시간 : $T_{green}(4)$

2) T_{min} : 각 현시별 최소녹색시간(보행시간)이다.

- 1현시 운영 시간 : $T_{min}(1)$
- 2현시 운영 시간 : $T_{min}(2)$
- 3현시 운영 시간 : $T_{min}(3)$
- 4현시 운영 시간 : $T_{min}(4)$

3) T_{max} : 각 현시별 최대녹색시간이다.

- 1현시 운영 시간 : $T_{max}(1)$
- 2현시 운영 시간 : $T_{max}(2)$
- 3현시 운영 시간 : $T_{max}(3)$
- 4현시 운영 시간 : $T_{max}(4)$

4) y : 황색시간이며, 3초로 정의(default)한다.

5) Detect : 차량 및 보행자 감지 여부를 확인한다.

(Detection(검지기 번호) = 1, 1=검지 됨 0=검지 안 됨)

- 1현시 콜 : Detect 1
- 2현시 콜 : Detect 2
- 3현시 콜 : Detect 3

6) g_ex : 잔여 녹색시간이며 차량(보행자) 미 감지에 따른 조기종료로 인해 기존 시간에서 남는 녹색시간이다. 남는 녹색시간을 마지막 4현시에 배정하여 주기(150초)를 고정시킨다.

- 1현시 잔여 녹색시간 : g1_ex
- 2현시 잔여 녹색시간 : g2_ex
- 3현시 잔여 녹색시간 : g3_ex

7) hw : 차두간격(Headway)이며 연장 필요성을 판단하고, 5초로 정의(default)한다. 검지기로부터 5초 내 차량이 감지될 경우 기존 녹색시간에서 5초(ex)*를 연장한다. 검지가 안될 때 녹색시간을 조기 종료한다. 현시별 최소녹색시간(T min)을 확보하고 최대녹색시간(T max)을 초과하지 않도록 한다.

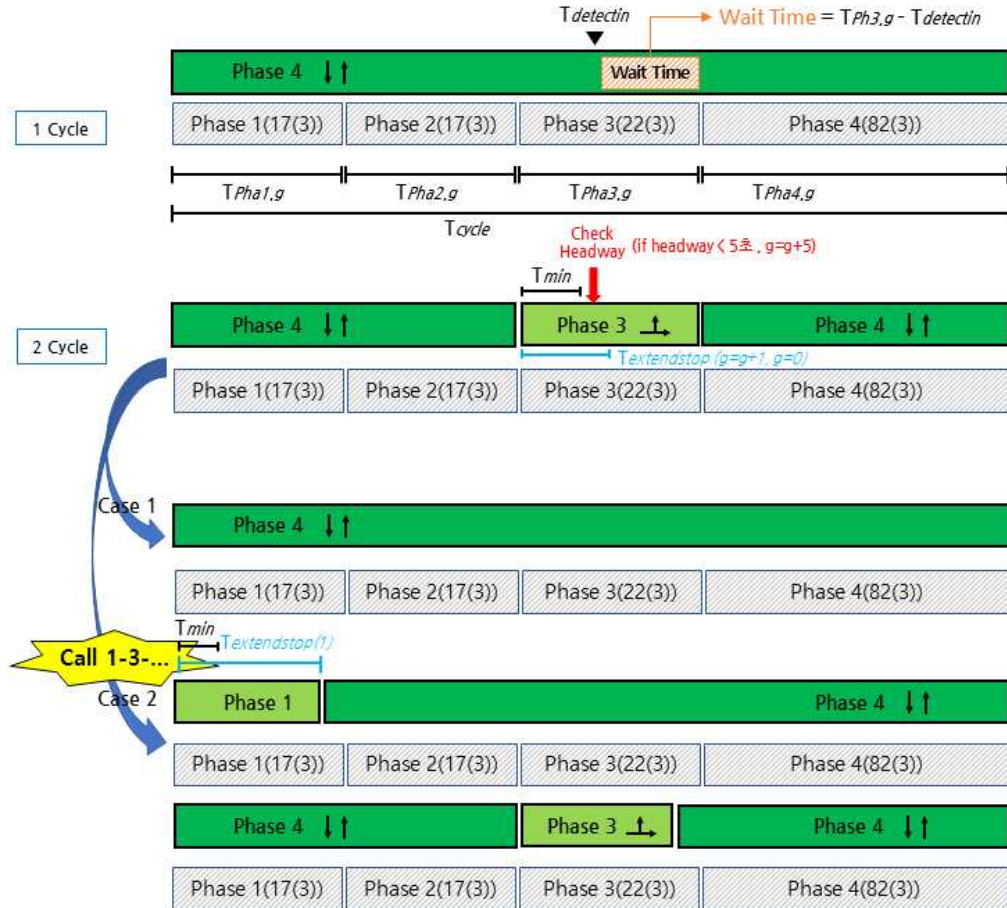
* ex : 연장시간, 5초로 정의(default)

8) Tg_new : 각 현시별 신규 녹색시간이며 조기종료 및 연장에 의해 계산된 4현시(직진) 녹색시간이다. 이 때 사용한 수식은 공식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} Tg_new &= Tg_origin + (g1_ex + g2_ex + g3_ex) \\ &= \text{기존 4현시 녹색시간} + 1\sim 3\text{현시의 잔여 녹색시간} \end{aligned} \quad (2)$$

2. 보행감응신호 운영 알고리즘

4지 교차로 기준 보행감응신호는 [그림 4-3]과 같이 1, 2, 3현시가 감응현시이고 3현시는 보행신호이며 4현시는 주도로 차량신호로 운영되고 있다.



[그림 4-3] 보행감응신호 운영 개념도

예를 들어 보행신호인 3현시에 보행자가 검지되면 보행자는 검지된 시점에 해당 3현시가 종료되고 다음 4현시(주도로 직진)가 종료되서 해당 주기가 종료된 후 다음 주기에 해당 3현시 순서에 보행신호가 등화된다. 이 때 전주기 1, 2현시에 차량검지가 없었으면 보행자 대기기간은 “전주기 3현시에 검지된 시점에서 해당 3현시 종료시까지+4현시 종료시(주기종료)+다음주기 1, 2현시 종료

시점”까지가 된다. 또한 Case 1은 전주기에 1,2,3현시에 차량 및 보행자 검지가 없었을 경우 다음 주기에 4현시 주도로 차량신호만 동작되는 경우를 표현한 것이고 Case 2는 전주기에 차량검지만 된 경우와 보행자만 검지된 경우를 표현한 것이다. 따라서 차량 및 보행검지의 경우 각각의 해당 현시는 1주기 내 고정된 위치에서만 작동되므로 현시 전환이 불가능하다. 또한 1, 2, 3현시에 차량 및 보행자가 검지되지 않았으면 다음 주기는 모두 4현시 주도로 차량신호가 가져가게 된다. 위 내용을 포함하는 보행감응신호 알고리즘 흐름도는 [그림 4-4]와 같다.

이를 토대로 1, 2, 3 현시의 조기종료 및 연장에 의해 계산된 4현시(주도로 직진) 녹색시간 산정식은 수식(3)과 같다. 물론 차량 및 보행자 검지의 경우가 모두 동시 또는 각각 발생할 수도 있으며 그 경우 각각의 수식으로도 표현될 수 있지만 여기서는 전체 개념의 수식만 산정하였다.

$$T_{ph4,g(new)} = T_{ph4,g(origin)} + (g1_{ex} + g2_{ex} + g3_{ex}) \quad (3)$$

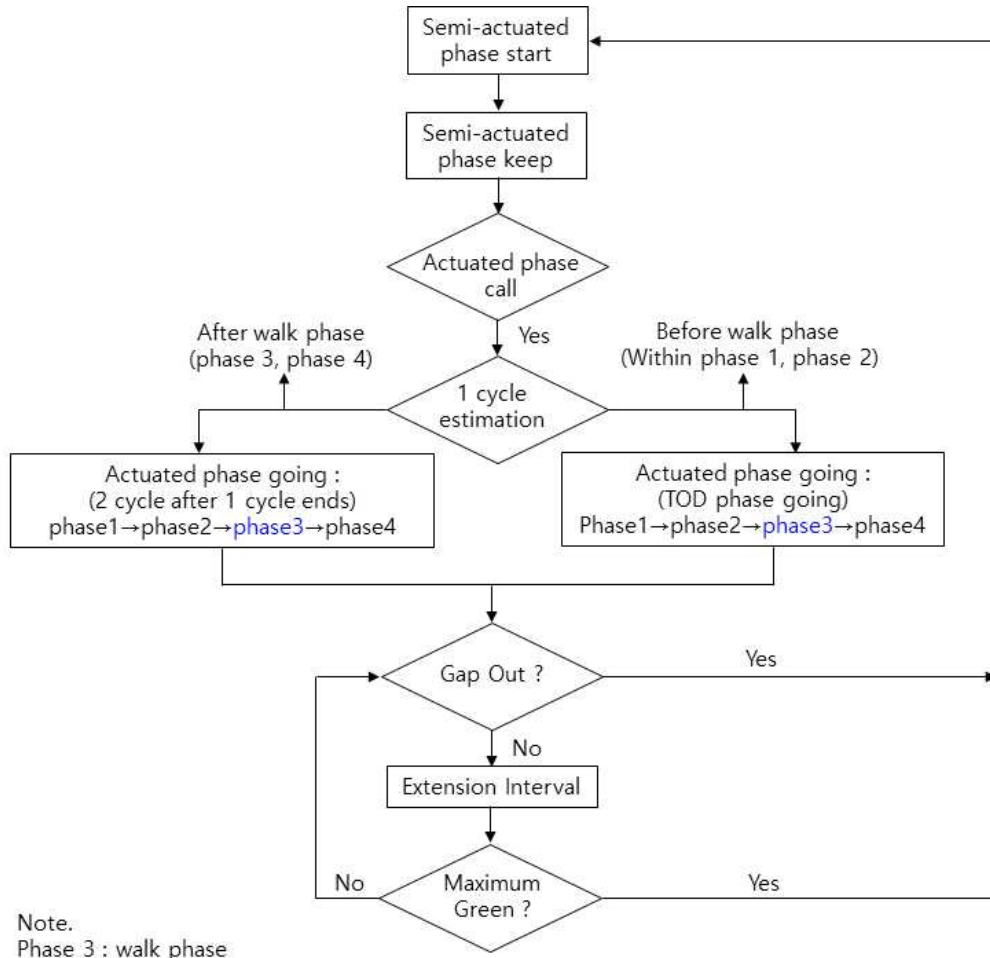
여기서, $T_{ph4,g(new)}$: 다음 주기 4현시 녹색시간

$T_{ph4,g(origin)}$: TOD에 입력되어 4현시 녹색시간

$g1_{ex}$: 1현시 잔여 녹색시간

$g2_{ex}$: 2현시 잔여 녹색시간

$g3_{ex}$: 3현시 잔여 녹색시간

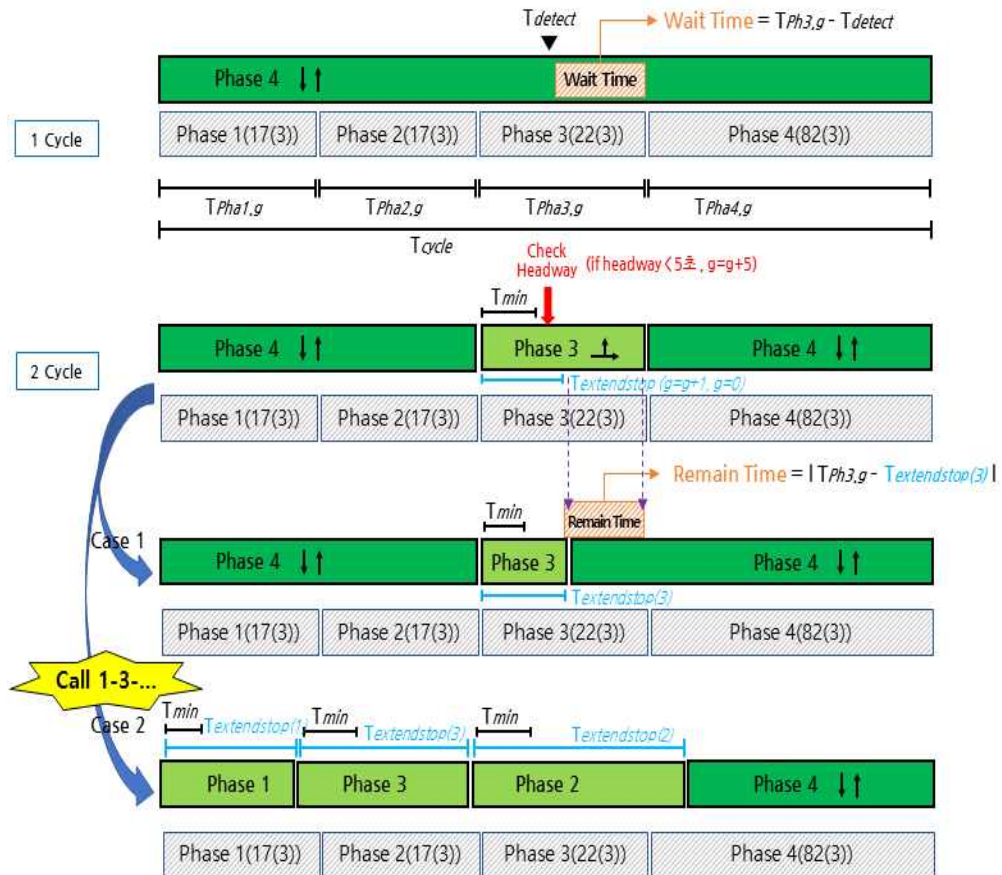


[그림 4-4] 보행감응신호 알고리즘

출처 : 최봉수 외(2022), 보행대기시간과 보행자스트레스를 고려한 보행자우선 감응신호 운영 방안 연구

3. 보행자우선 감응신호 운영 알고리즘

개선된 보행자우선 감응신호 운영 알고리즘의 경우도 4지 교차로 기준으로 [그림 4-5]와 같이 1, 2, 3현시가 감응현시이고 3현시는 보행신호이며 4현시는 주도로 차량신호로 운영된다.



[그림 4-5] 보행자우선 감응신호 운영 개념도

개선된 보행자우선 감응신호에서는 보행신호인 3현시에 보행자가 검지되면 보행자는 검지된 시점에 해당 3현시가 종료되고 다음 4현시(주도로 직진)가 종료되서 해당 주기가 종료된 후 다음 주기에 해당 3현시 순서에 보행신호가 등화되는 것이 아니고 가장 먼저 3현시가 동작하게 된다. 이 때 전주기 1, 2 현시에 차량검지가 없었으면 보행자 대기기간은 “전주기 3현시에 검지된 시점에서 해당 3현시 종료 시까지+4현시 종료 시(주기종료)”까지가 된다. 또한 Case 1은 보행자만 검지된 경우를 표현한 것이고 Case 2는 1현시 차량, 2현시 차량 그리고 3현시 보행자가 모두 검지된 경우를 표현한 것이다. 이 때 3현시 보행신호는 2현시보다 우선해서 동작되는 개념으로 1주기 내 현시 전환이 가능하다. 또한 1, 2, 3현시에 차량 및 보행자가 검지되지 않았으면 다음 주기는 모두 4현

시 주도로 차량신호가 가져가게 된다. 위 내용을 포함하는 보행자우선 감응신호 알고리즘 흐름도는 [그림 4-6]과 같다.

보행감응신호 알고리즘에서와 마찬가지로 1, 2, 3 현시의 조기종료 및 연장에 의해 계산된 4현시(주도로 직진) 녹색시간 산정식은 수식(4)와 같다.

$$T_{ph4,g(new)} = T_{ph4,g(origin)} + (g1_{ex} + g2_{ex} + g3_{ex}) \quad (4)$$

여기서, $T_{ph4,g(new)}$: 다음 주기 4현시 녹색시간

$T_{ph4,g(origin)}$: TOD에 입력되어 4현시 녹색시간

$g1_{ex}$: 1현시 잔여 녹색시간

$g2_{ex}$: 2현시 잔여 녹색시간

$g3_{ex}$: 3현시 잔여 녹색시간

아울러, Case 2의 경우에 1, 2, 3현시의 조기종료 및 연장이 있었는데 1현시는 조기종료, 2, 3현시는 연장된 경우를 표현한 것이며 이 경우 4현시(주도로 직진) 녹색시간 산정식은 수식(5)와 같다. 따라서 Case 2의 경우는 $T_{ph4,g(new)}$ 는 증가 또는 감소할 수 있다.

$$T_{ph4,g(new)} = T_{ph4,g(origin)} - ((T_{ph1,g} - T_{extendstop(1)}) + (T_{extendstop(2)} - T_{ph2,g}) + (T_{extendstop(3)} - T_{ph3,g})) \quad (5)$$

여기서, $T_{ph4,g(new)}$: 다음 주기 4현시 녹색시간

$T_{ph4,g(origin)}$: TOD에 입력되어 4현시 녹색시간

$T_{ph1,g}$: TOD에 입력되어 1현시 녹색시간

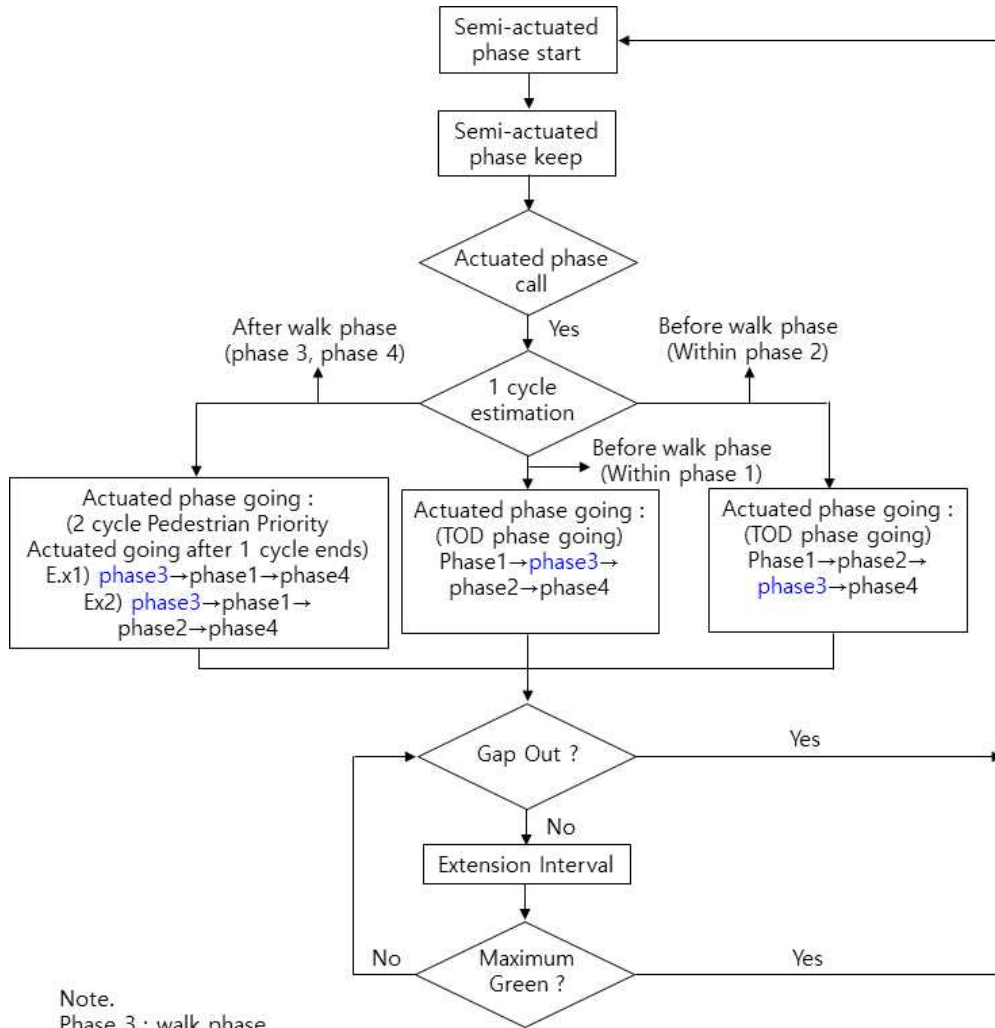
$T_{extendstop(1)}$: 운영된 1현시 녹색시간

$T_{ph2,g}$: TOD에 입력되어 2현시 녹색시간

$T_{extendstop(2)}$: 운영된 2현시 녹색시간

$T_{ph3,g}$: TOD에 입력되어 3현시 녹색시간

$T_{extendstop(3)}$: 운영된 3현시 녹색시간



[그림 4-6] 보행자우선 감응신호 알고리즘

출처 : 최봉수 외(2022), 보행대기시간과 보행자스트레스를 고려한 보행자우선 감응신호 운영 방안 연구

앞서 4장 1절에 언급한 바와 같이 본 알고리즘에서도 3, 4현시에 보행자가 검지될 경우 1주기 종료 후 3현시가 1현시 다음에 표출되게 하는 것은 옵션에 따라 설정 가능하다.

제 5 장 보행자우선 감응신호 제어전략 평가

제 1 절 분석도구

본 연구에서 제시한 알고리즘 효과 평가를 위해 독일의 PTV사에 의해 개발된 미시적 교통 분석용 차량추종모형 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 통해 보행자우선 감응신호 시나리오별 분석을 수행하고자 하며, 감응신호 알고리즘 구현을 위해 VISSIM에서 제공하는 교통감응식 알고리즘 분석툴인 VisVap((VISSIM Vehicle Actuated Program) 모듈을 활용하였다. 본 연구에서 활용한 VISSIM은 애니메이션 기능이 뛰어나고 교통류분석(지점별 속도, 구간별 속도 및 통행시간, 혼잡교통류 분석) 기능이 가능하여 모형 사용자가 교통 운영이나 교차로에서의 교통류를 제어하기 용의하며, 차로별 특성을 고려한 차로제어가 가능하다. 또한, 시뮬레이션 상에서 통과 교통량을 구현 시, 이산분포를 통하여 확률에 따른 랜덤 교통량을 구현하여 현실적인 분석이 가능하다. 이외에도 보행교통량을 고려하여 분석할 수 있으며 운전자 행태를 기초로 만들어진 프로그램으로서 도시부 및 지방부 도로에서 다양한 형태의 교통특성을 사실적으로 분석 가능한 장점이 있다.

제 2 절 분석지표

보행자우선 감응신호 적용 전·후의 비교평가가 가능한 평가척도로 아래와 같은 분석지표를 선정하여 효과분석을 하였다.

- 보행자 지체도(보행대기시간)
- 차량 지체도
- 차량통행속도

상기 3가지 지표를 통해 제안한 보행자우선 감응신호와 기존 감응신호 운영

시 보행대기시간, 차량 지체도, 차량통행속도를 도출하여 이를 비교 분석하였고 시뮬레이션 구축 후 모델 리뷰와 디버깅, 정산을 수행하였다.

제 3 절 분석 대상지

1. 독립교차로 분석 대상지

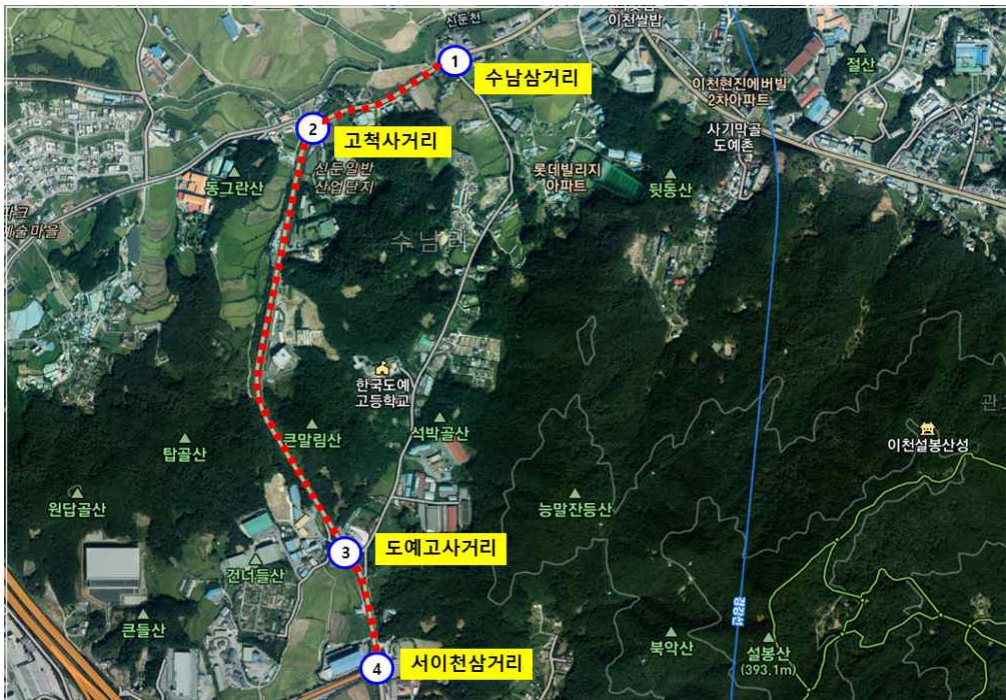
앞서 보행자작동신호기가 설치되어 있는 연구대상지 6개 교차로를 대상으로 보행대기시간 및 보행자 만족도 설문조사 및 분석을 하였다. 시뮬레이션 분석은 독립교차로와 연동구간 등 2단계로 나누어 분석을 하고자 한다. 2단계로 나누어 분석을 하는 이유는 독립교차로 적용 시와 연동구간 적용 시에 대한 효과를 평가 하기 위해서이다. 이는 감응신호 운영 구간은 지역 교통여건에 따라 선정되기 때문에 해당 여건에 따라 독립교차로인 경우와 연동구간인 경우로 구분되는게 일반 적이기 때문이다. 우선 1단계로 위의 6개 교차로 중 보행자우선 감응신호 분석을 위한 독립교차로 지점 선정을 위해 [표 5-1]과 같이 기하구조 조건, 교통조건, 제어조건 등 3가지 조건에 부합하는 지점을 검토한 결과 도예고사거리를 독립교 차로 분석 대상지로 선정했다.

[표 5-1] 보행자우선 감응신호 독립교차로 분석 대상 후보지 조건

구분	세부 조건
기하구조조건	- 4지 교차로 - 인접 교차로와 이격 거리가 500m 이상
교통조건	- 보행 교통량이 상대적으로 많은 지점
제어조건	- 2010년 경찰청 표준규격 교통신호제어기 설치 지점 - 4현시(보행자 & 차량 현시) 운영 - 주도로 및 부도로 좌회전 검지기 설치 지점 - 보행자작동신호기 설치 지점

2. 연동구간 분석 대상지

경찰청 교통신호기 설치운영관리 업무편람(2022)에 연동신호제어는 일반적으로 어떤 도로에서 교차로가 연속적으로 설치되어 있는 경우 어떤 교차로에서 녹색신호를 받고 출발한 차량이 다음 교차로에서도 계속 녹색신호를 받고 진행할 수 있도록 인접한 2개 이상의 신호등을 연계시켜 운영하는 신호제어방법이라고 정의하고 있다. 따라서 연동구간 분석을 위해서는 최소 2개 이상의 인접한 교차로가 있어야 한다. 따라서 2단계 연동구간 분석 대상지로 연구대상지 6개 교차로 중 수남삼거리~서이천삼거리 등 4개 교차로를 선정하였다. 선정 사유는 본 분석 대상지 구간인 수남삼거리~서이천삼거리까지는 각 교차로가 서로 인접한 연동구간을 형성하고 있다. 그러나 5번째 교차로인 장생이삼거리는 보행자작동신호기가 미설치된 지점이라 제외하였고 그 다음 6번째 교차로인 장암사거리 이후는 해당 구간에서 3.85km 가량 이격되어 있고 연속류 구간도 포함되어 있어 제외하였다. 수남삼거리~서이천삼거리간은 약 2.38km 구간으로 [그림 5-1]과 같다.



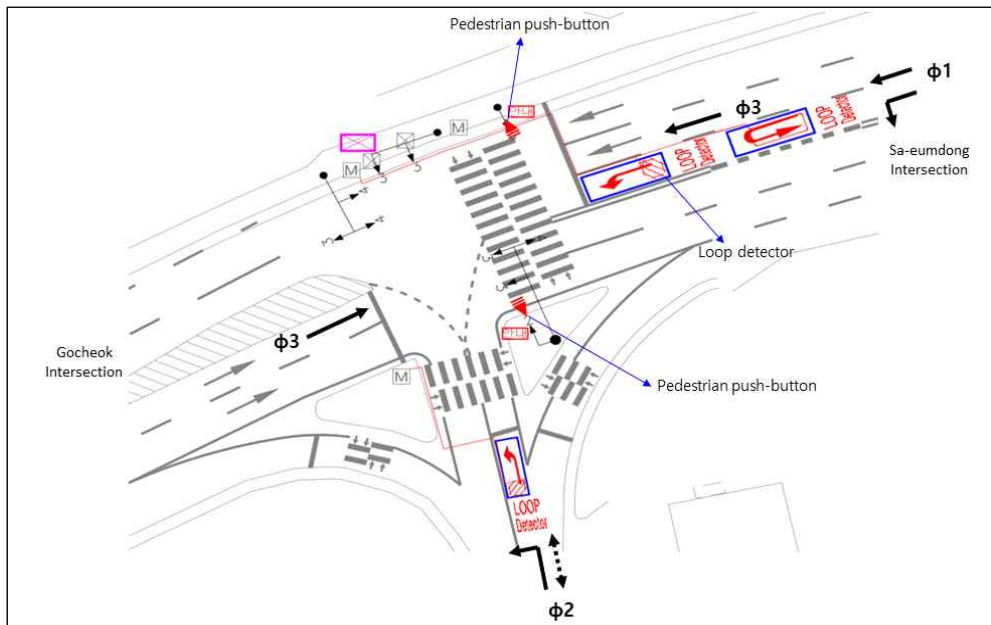
〈그림 5-1〉 연동구간 분석 대상지 구간

3. 분석 대상 교차로 신호운영 현황

1) 수남삼거리 신호운영 현황

수남삼거리의 비첨두시간(12:00~14:00)의 신호주기는 150초이며 3현시로 구성되어 있고 각 현시는 [표 5-2]와 같으며 주도로 및 부도로에 좌회전감응 루프검지기가 설치되어 있으며 주도로 횡단보도에 보행자작동신호기가 설치되어 있다. 횡단거리는 18m이고 보행속도는 1.0m/s로 하였다.

[표 5-2] 수남삼거리 신호 운영 현황

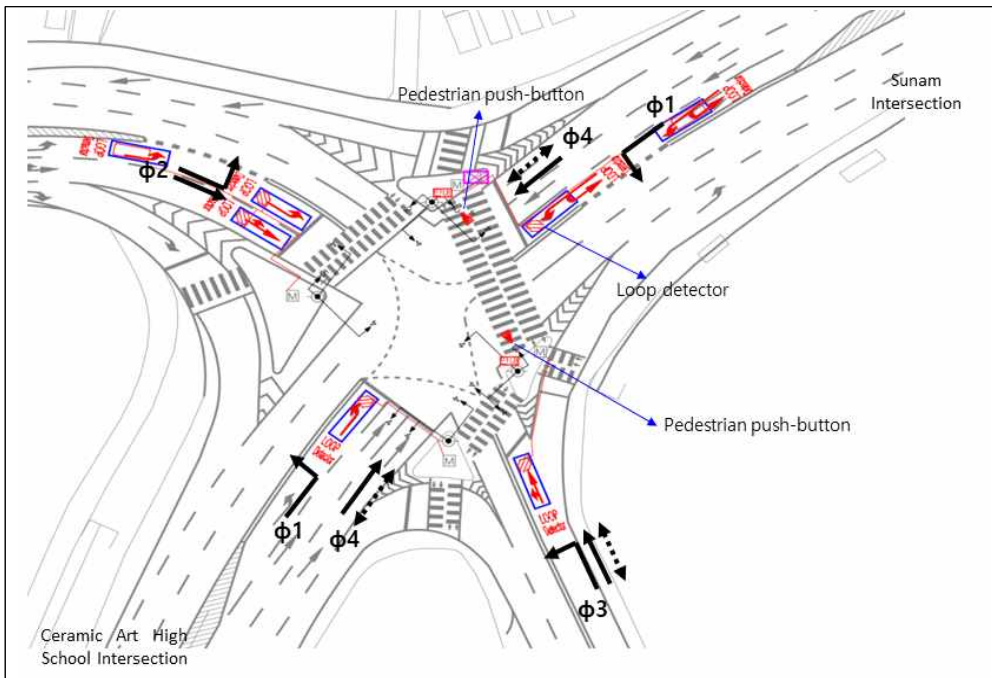


Phase	1st phase	2nd phase (pedestrians signal)	3rd phase	
Cycle 150s				
Signal Time	17(3)	24(3)	100(3)	
Pedestrian signal		24		
Minimum green time	10	24	50	

2) 고척사거리 신호운영 현황

고척사거리의 비첨두시간(12:00~14:00)의 신호주기는 150초이며 4현시로 구성되어 있고 각 현시는 [표 5-3]과 같으며 주도로 및 부도로에 좌회전감응 루프검지기가 설치되어 있으며 주도로 횡단보도에 보행자작동신호기가 설치되어 있다. 횡단거리는 22m이고 보행속도는 1.0m/s로 하였다.

[표 5-3] 고척사거리 신호 운영 현황

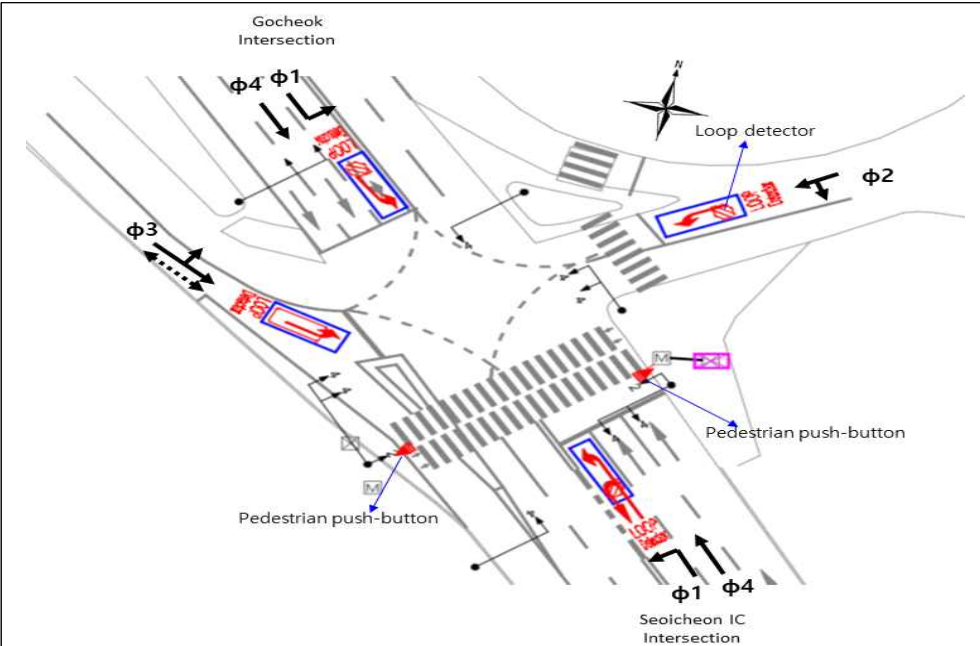


Phase	1st phase	2nd phase	3rd phase (pedestrians signal)	4th phase
Cycle 150s				
Signal Time	22(3)	22(3)	22(3)	72(3)
Pedestrian signal			22	
Minimum green time	10	10	22	32

3) 도예고사거리 신호운영 현황

도예고사거리의 비첨두시간(12:00~14:00)의 신호주기는 150초이며 4현시로 구성되어 있고 각 현시는 [표 5-4]와 같으며 주도로 및 부도로에 좌회전감응 루프검지기가 설치되어 있으며 주도로 횡단보도에 보행자작동신호기가 설치되어 있다. 횡단거리는 21m이고 보행속도는 1.0m/s로 하였다.

[표 5-4] 도예고사거리 신호 운영 현황



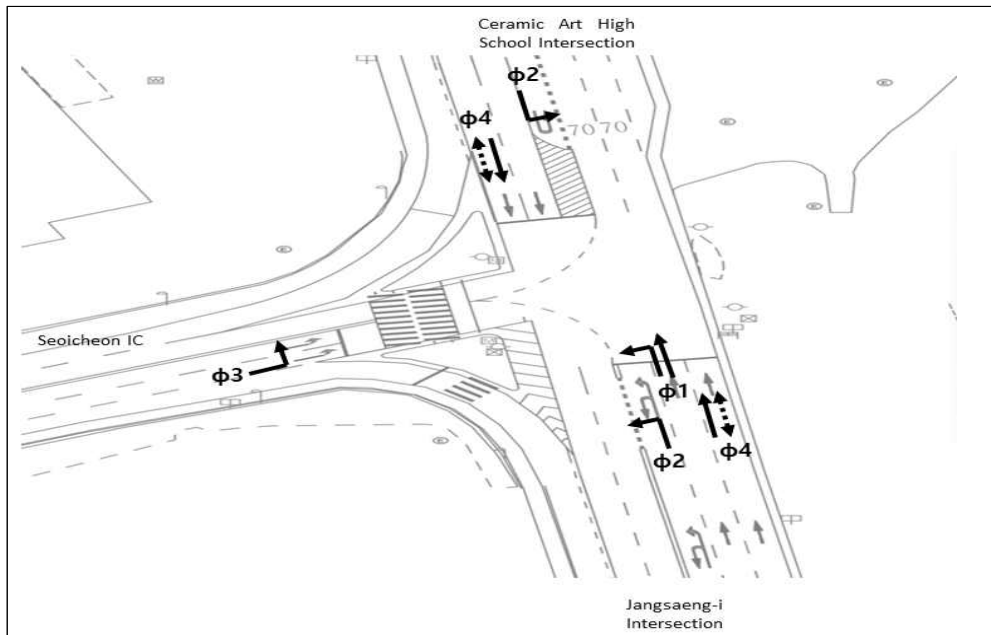
The diagram illustrates the Doeogosa Intersection, showing the layout of roads, traffic signals, and pedestrian crossings. It identifies four traffic phases: Phase 1 (straight and left-turn traffic on the main road), Phase 2 (straight and right-turn traffic on the main road), Phase 3 (pedestrian crossing), and Phase 4 (straight and left-turn traffic on the side road). The diagram also shows the location of loop detectors and pedestrian push-buttons at the crossings.

Phase	1st phase	2nd phase	3rd phase (pedestrians signal)	4th phase
Cycle 150s				
Signal Time	17(3)	17(3)	22(3)	82(3)
Pedestrian signal			22	
Minimum green time	10	10	22	30

4) 서이천삼거리 신호운영 현황

서이천사거리의 비첨두시간(12:00~14:00)의 신호주기는 150초이며 4현시로 구성되어 있고 각 현시는 [표 5-5]와 같으며 본 교차로는 서이천 IC에 연결된 교차로로 교통량이 많아 이천경찰서에서 감응신호 미설치 요청에 따라 주도로 및 부도로 좌회전 루프검지기 및 보행자작동신호기가 설치되지 않은 교차로이다. 주도로 횡단보도는 없는 교차로이다.

[표 5-5] 서이천삼거리 신호 운영 현황



Phase	1st phase	2nd phase	3rd phase	4th phase (pedestrians signal)
Cycle 150s				
Signal Time	27(3)	10(3)	47(3)	47(3)
Pedestrian signal				47
Minimum green time	14	7	17	24

제 4 절 분석 시나리오

본 연구에서는 보행자를 위한 감응신호 운영에 대한 효과를 분석하기 위해 보행신호에 대한 우선순위를 고려하여 시나리오를 설정하였다. 보행자 검지 시, 기존 현시 순서에 맞춰 보행신호를 포함하는 차량신호를 운영해주는 시나리오 1(현황)과 Case별로 보행신호를 포함하는 차량신호를 운영하여 보행자가 오래 기다리지 않고 통행할 수 있는 시나리오 2(개선)를 비교하여 분석하였다. 보행자우선 감응신호 운영 시 보행자 CALL이 검지된 시간 이후 어느 현시에 보행현시가 제공되는지를 산정하고 이에 따라 시나리오를 설정하였다. [그림 5-2]는 보행감응신호 시나리오(현황) 개념도이며 [그림 5-3]은 보행자 CALL 검지로 인하여 보행신호현시 순서가 변경되는 보행자우선 감응신호의 시나리오(개선) 개념도이다.

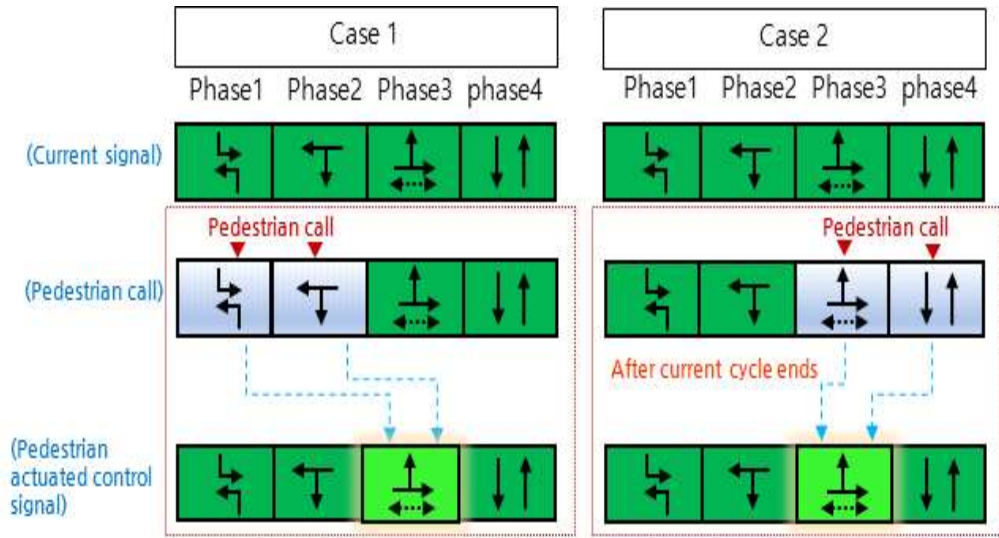
- 시나리오 1(현황) : 보행자 검지 시, 기존 현시 순서에 맞춰 보행신호를 포함하는 차량신호 운영

- 시나리오 2(개선) : 보행자검지 Case에 따라 보행신호현시 순서를 변경

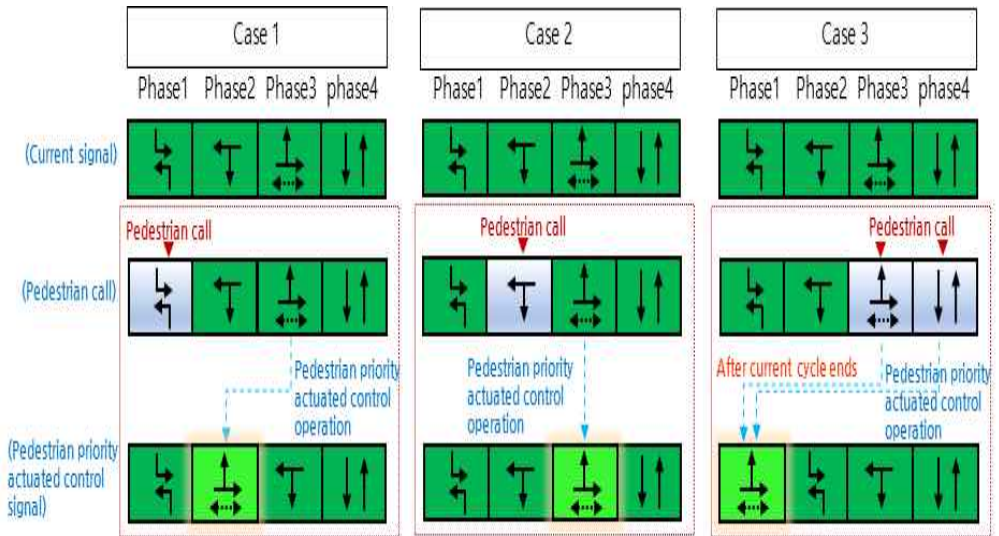
- 보행자검지 Case 1 : 1현시에 보행자 CALL이 검지되면 3현시(보행신호)가 2현시 보다 먼저 제공되고 다음에 2현시와 4현시가 운영된다.

- 보행자검지 Case 2 : 2현시에 보행자 CALL이 검지되면 2현시 종료 후 3현시(보행신호)와 4현시가 운영된다.

- 보행자검지 Case 3 : 3현시와 4현시에 보행자 CALL이 검지되면 당해 주기가 종료된 후 다음 주기에 3현시(보행신호)가 가장 먼저 운영되고 그 다음 1현시, 2현시, 4현시 순으로 신호가 운영된다.



[그림 5-2] 보행감응신호 시나리오 1(현황) 개념도



[그림 5-3] 보행자우선 감응신호 시나리오 2(개선) 개념도

제 5 절 분석네트워크 구축

본 연구에서 제시한 보행자우선 감응신호 알고리즘 효과 평가를 위해 미시적 교통 분석용 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 활용하여 시뮬레이션 네트워크를 구축하고 보행자우선 감응신호 알고리즘 구현을 위해 VISSIM에서 제공하는 VisVap 모듈을 활용하였다. 보행감응신호 운영 중인 분석대상지 교차로에 본 연구에서 제시한 보행우선 감응신호 알고리즘을 적용하여 차량과 보행 측면에서 지체 및 보행대기시간 상황을 분석하고자 한다.

1. 현황

첫째, 1 cycle 기준 감응신호운영으로 주도로 직진방향(4현시) 녹색시간을 주현시로 운영한다. 주기(150초) 및 현시별 녹색시간(TOD) 기준으로 녹색시간을 부여하며 주도로 직진 4현시를 제외한 나머지 현시는 검지되지 않으면 신호현시를 생략한다. 여기서 주기 150초는 기존 운영 현황을 최대한 반영해서 분석하기 위하여 기존 주기를 적용하였다.

둘째, 감응현시를 적용한다. 동시에 1,2,3 감응현시가 검지될 경우 기존 현시 순서로 적용한다. 기존현시 순서는 “주도로 좌회전(1현시)→부도로(2현시)→부도로(3현시, 보행현시)→주도로 직진(4현시)”이다. 예를 들어, 1현시 시간으로 4현시 운영될 때 2현시가 검지될 경우 1현시 종료 후 2현시로 전환되고, 3현시 시간으로 4현시 운영될 때 2현시가 검지될 경우 1주기 종료 후 2현시 시간대에 운영된다. 또한 기존의 보행현시인 3현시에 보행신호등이 등화하려면 기존 1~4현시 중 적어도 어느 한 현시에 보행자가 보행자작동신호기 버튼을 눌러 보행 CALL이 검지되어야 한다.

마지막으로 신호시간 연장에 따른 주기산정을 적용한다. 신호시간 연장에 있어 검지기로부터 5초 이내로 차량이 검지될 경우 녹색시간을 5초 연장하는데 연장 최대 가능 시간은 TOD 내 제시된 최대녹색시간으로 정의하였다. 최소녹색시간 만족 후 차두간격에 따른 연장 가능 시간을 체크한다. 차두간격 5초 이

상일 경우 주도로 4현시 신호로 전환되며, 차두간격 및 연장에 따른 잔여시간의 경우 4현시에서 차감하여 운영하는데 이는 신호주기 150초를 유지하기 위함이다.

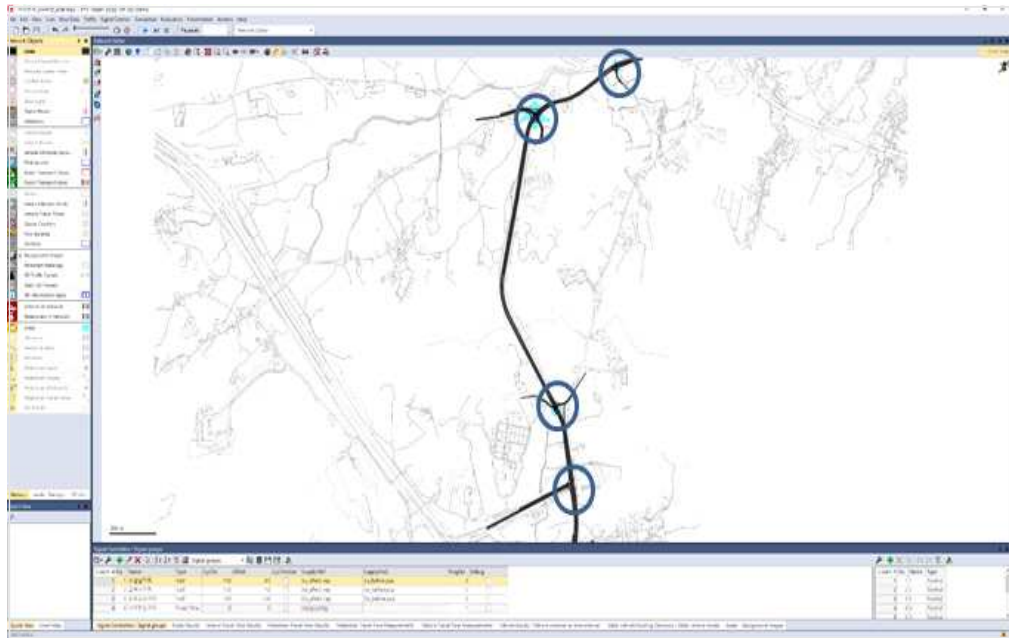
2. 보행자우선 감응신호

기존 현황 조건에서 보행자 신호 우선 운영 및 현시 전환을 적용한다. 주기 내 보행자 검지 시 현시 교체(n현시→3현시)로 운영한다. 예를 들어 3, 4현시에 진행 중에 1, 2, 3현시가 모두 CALL이 검지될 경우 시나리오 2(개선)의 경우 1주기 종료 후 “보행현시(3현시)→주도로 좌회전(1현시)→부도로(2현시)→주도로(4현시)” 순으로 운영한다.

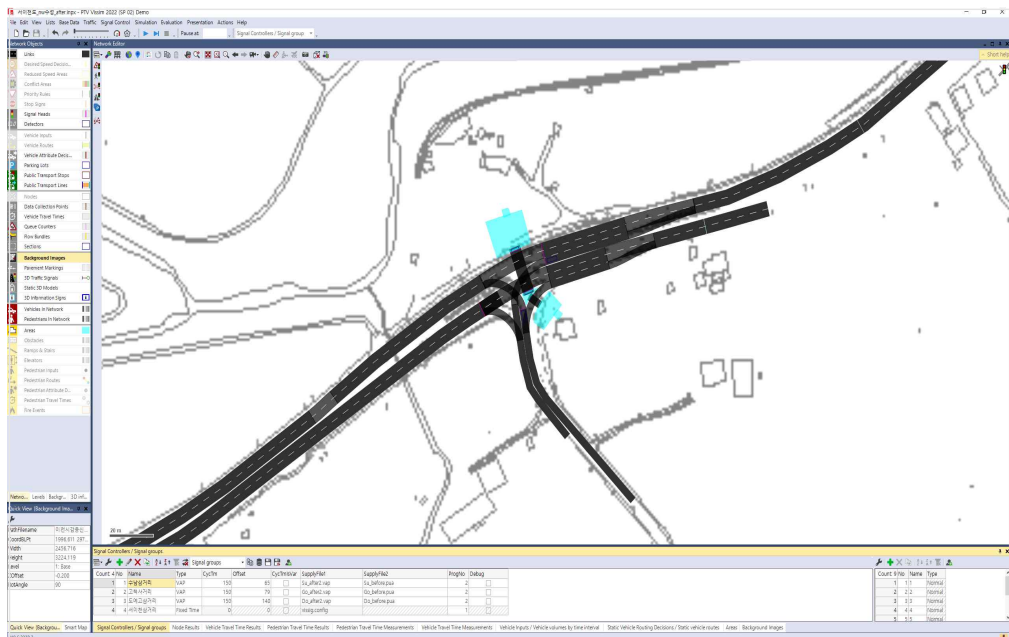
3. 분석환경 구축

대상지 도면 및 타 포털사이트(카카오맵) 정보를 활용하여 현실과 유사한 도로망 및 교차로 기하구조를 구축하고 차량 검지기는 교차로 방향별 정지선 앞, 보행자작동신호기는 Push-button에 의해 신호가 작동되도록 횡단보도 대기선 앞에 구축하였다. 시뮬레이션 분석 시간은 분석 대상지 내 보행자 통행이 가장 많은 비침두시(12:00~13:00)를 대상으로 1시간(3,600초)로 설정하되 시뮬레이션 분석 준비시간, 즉 교통량이 발생하여 도로에 채워지는 시간을 고려하여 600~4,200초로 적용하였다. 차량의 교통량은 [그림 3-3], [그림 3-4], [그림 3-5]의 교통량 현황을 적용하였고 횡단보도 이용자인 보행 교통량은 [표 3-12]에서 12:00~13:00 사이의 횡단보행자수를 활용하였다.

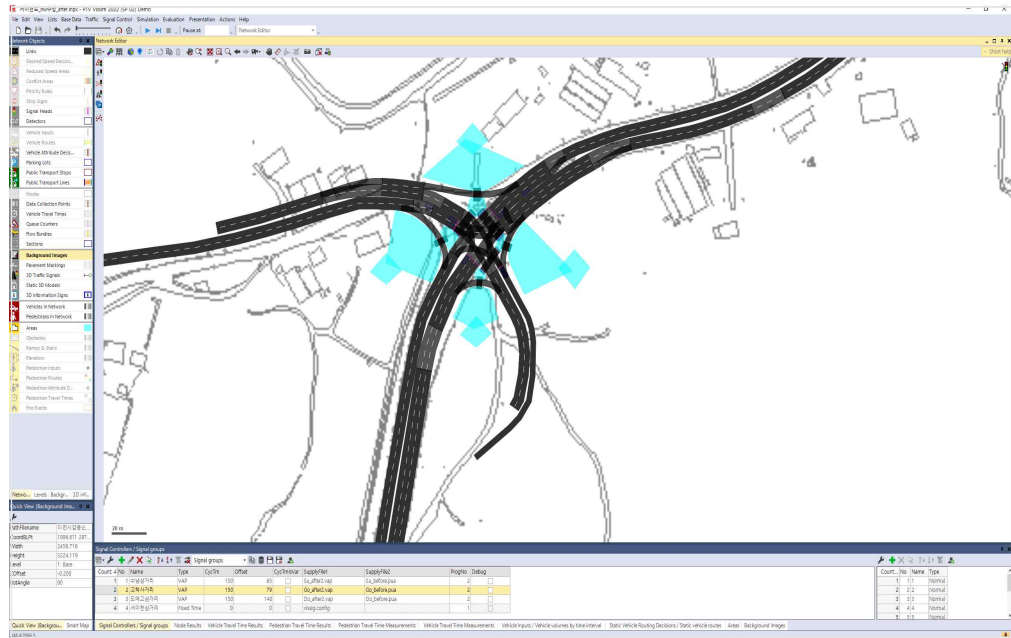
4개 대상 구간 교차로의 VISSIM 네트워크 조성한 기하구조는 [그림 5-4] 및 [그림 5-5], [그림 5-6], [그림 5-7], [그림 5-8]과 같다.



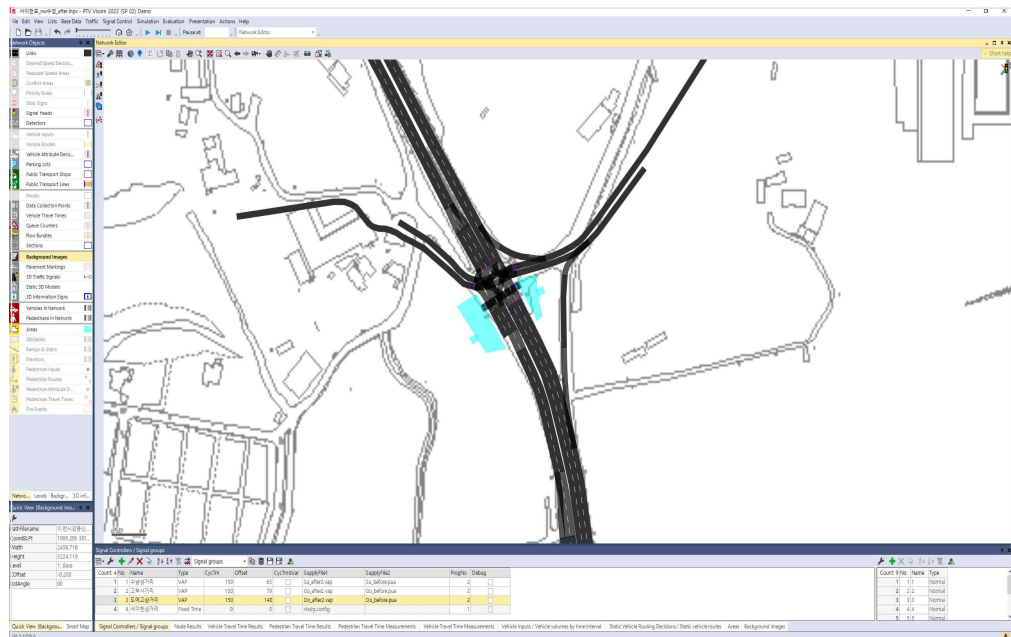
[그림 5-4] 4개 구간 VISSIM 네트워크 기하구조



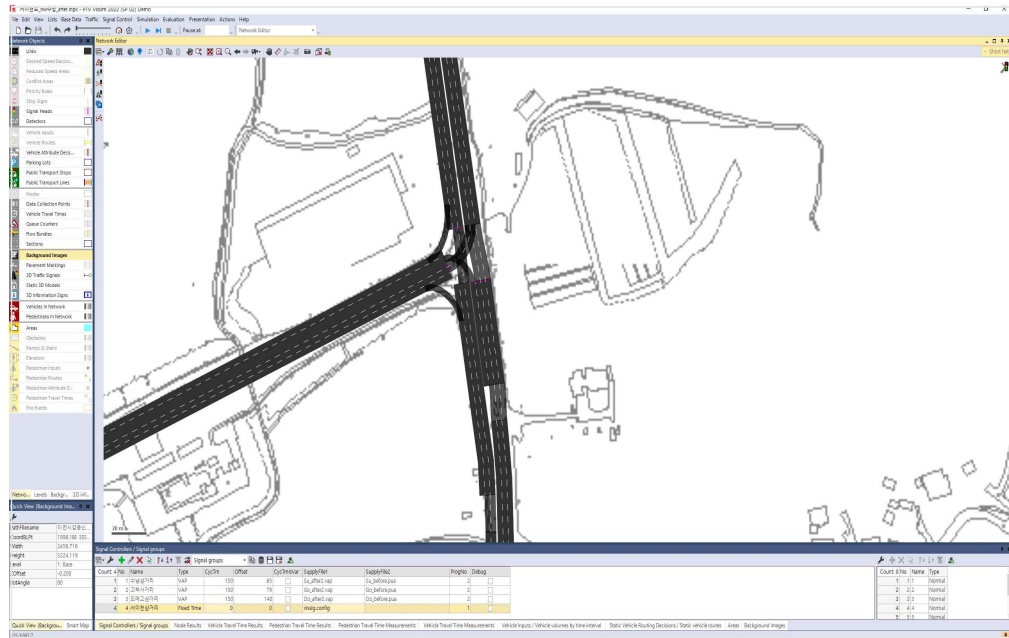
[그림 5-5] 수남삼거리 VISSIM 네트워크 기하구조



[그림 5-6] 고척사거리 VISSIM 네트워크 기하구조



[그림 5-7] 도예고사거리 VISSIM 네트워크 기하구조



[그림 5-8] 서이천사거리 VISSIM 네트워크 기하구조

제 6 절 시뮬레이션 분석

1. 독립교차로 분석

독립교차로로 선정된 도예고사거리의 시나리오 2(개선)를 적용한 시뮬레이션 분석 결과 차량 평균 지체시간은 [표 5-6]과 같이 20.85초에서 22.73초로 1.88초(9.0%) 증가하였다.

[표 5-6] 도예고사거리 차량 평균 지체시간

구분	대기행렬(m)		지체시간(초)		LOS		증감량	
	현황	개선	현황	개선	현황	개선	대기 행렬	지체 시간
도예고사거리	11.68	12.17	20.85	22.73	B	B	+0.49	+1.88

차량 통행속도 구간은 고척사거리→도예고사거리→서이천삼거리간이며 평균 통행속도는 [표 5-7]과 같이 44.14km/h에서 42.49km/h로 1.65km/h(3.7%) 감소되었다.

[표 5-7] 도예고사거리 통행속도

구분		통행속도(km/h)		
		현황	개선	증감량
차량	상행	45.83	44.53	-1.30
	하행	41.49	38.35	-2.14
	평균	44.14	42.49	-1.65

평균 통행시간은 [표 5-8]과 같이 73.20초에서 76.05초로 2.85초(3.9%) 증가하였다.

[표 5-8] 도예고사거리 통행시간

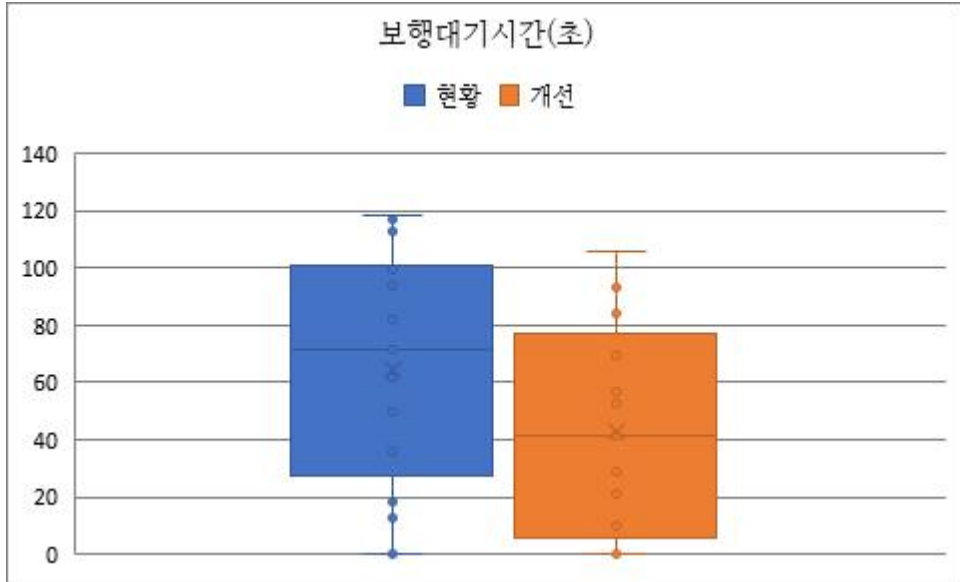
구분		통행시간(sec)		
		현황	개선	증감량
차량	상행	89.51	92.13	+2.62
	하행	56.88	59.97	+3.09
	평균	73.20	76.05	+2.85

보행 평균대기시간은 [표 5-9]와 같이 64.58초에서 43.13초로 21.45초로 감소함에 따라 33.2% 가량 크게 개선되었다. 아울러 시뮬레이션 결과로 인한 보행대기시간 데이터의 분포를 파악하기 위하여 [그림 5-9]와 같이 분석 데이터를 상자수염³²⁾ 그래프화 하였으며 현황보다 개선의 경우가 보행대기시간이 크게 감소한 것으로 나타났다. 따라서 보행자우선 감응신호 운영 시 차량지체는 9%, 통행시간은 3.9% 각각 증가하였으나 반면에 보행 평균대기시간은 33.2%로 크게 줄어들어 감소 효과가 있는 것으로 분석되었다. 보행자 도착 분포도는 부록에 제시하였다.

[표 5-9] 도예고사거리 보행 평균대기시간

구분	평균(초)	최소(초)	최대(초)	표준편차
현황	64.58	0.04	118.58	41.06
개선	43.13	0.00	105.59	36.90
증감량	-21.45			

32) 상자 수염 그림(box-and-whisker plot, box-and-whisker diagram) 또는 '상자 그림'(box plot, boxplot)은 수치적 자료를 표현하는 그래프이다. 이 그래프는 가공하지 않은 자료 그대로를 이용하여 그린 것이 아니라, 자료로부터 얻어낸 통계량인 5가지 요약 수치를 가지고 그린다. 이 때 5가지 요약 수치란 최솟값, 제1사분위(Q_1), 제2사분위(Q_2), 제3사분위(Q_3), 최댓값을 일컫는 말이다. 히스토그램과는 다르게 집단이 여러개인 경우에도 한 공간에 수월하게 나타낼 수 있다.



[그림 5-9] 도예고사거리(독립) 보행 평균대기시간 데이터 분포도

2. 연동구간 분석

수남삼거리~서이천삼거리간 연동구간에 대한 시뮬레이션 분석 결과 교차로 전체 차량 평균 지체시간은 [표 5-10]과 같이 16.51초에서 16.31초로 0.2초(1.2%)가 감소하였다.

[표 5-10] 교차로 차량 평균지체시간

구분	대기행렬(m)		지체시간(초)		LOS		증감량	
	현황	개선	현황	개선	현황	개선	대기행렬	지체시간
수남삼거리	4.67	3.32	5.40	4.55	A	A	-1.35	-0.85
고척사거리	7.76	7.52	16.96	16.61	B	B	-0.24	-0.35
도예고사거리	10.90	11.70	20.74	22.12	B	B	+0.80	+1.38
서이천삼거리	15.10	14.64	22.95	21.97	B	B	-0.46	-0.98
평균	9.61	9.30	16.51	16.31	B	B	-0.31	-0.20

구간 차량 평균통행속도는 [표 5-11]과 같이 37.33km /h에서 37.65km/h로 0.32km/h(0.86%) 감소되었다.

[표 5-11] 구간 평균통행속도

구분		통행속도(km/h)								평균 증감량
		현황				개선				
		평균	최소	최대	표준 편차	평균	최소	최대	표준 편차	
차량	상행	40.20	28.91	55.29	5.49	39.42	25.31	55.18	5.37	-0.78
	하행	34.46	24.58	51.54	5.75	35.89	24.13	54.20	6.55	1.43
	평균	37.33				37.65				0.32

구간 평균 차량 통행시간은 [표 5-12]와 같이 233.42초에서 231.13초로 2.29초(0.12%) 감소하였다.

[표 5-12] 구간 평균통행시간

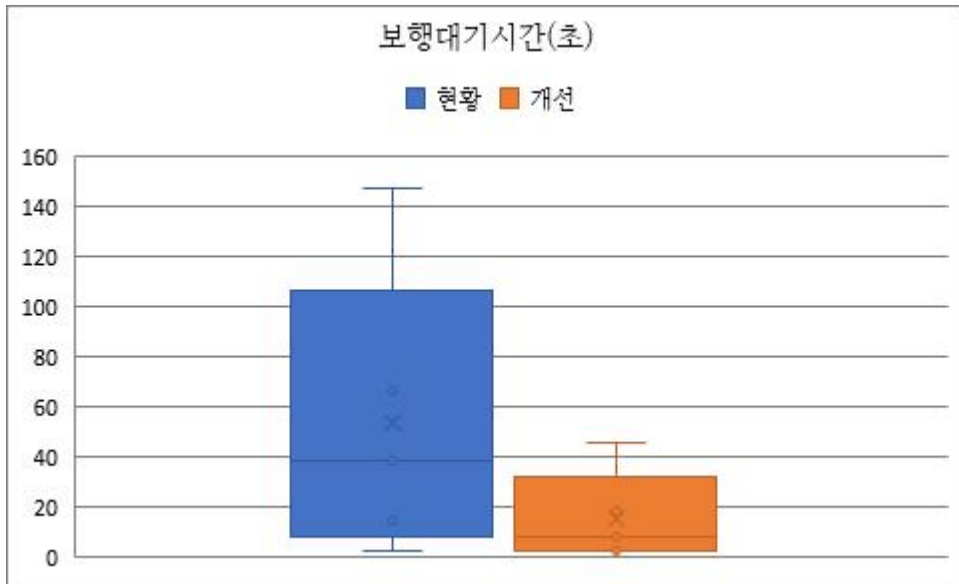
구분		통행시간(sec)		
		현황	개선	증감량
차량	상행	209.99	214.14	+4.15
	하행	256.84	248.12	-8.72
	평균	233.42	231.13	-2.29

보행 평균대기시간은 [표 5-13]과 같이 82.63초에서 48.20초로 34.43초 감소함으로써 41.66%가 개선되었다. 아울러, 각 교차로별 보행자우선 감응신호 알고리즘 적용 후 시나리오 2(개선)에 대한 보행자 도착 분포도는 부록에 제시하였다.

[표 5-13] 교차로별 보행 평균대기시간

구분		평균	최소	최대	표준편차
수남삼거리	현황	53.83	2.28	147.11	57.60
	개선	15.40	2.28	45.62	18.14
	증감량	-38.43			
고척사거리	현황	128.28	122.59	133.97	8.05
	개선	84.46	77.82	91.10	9.39
	증감량	-43.82			
도예고사거리	현황	65.79	1.49	125.32	34.18
	개선	44.75	0.26	117.82	34.31
	증감량	-21.04			
전체 평균	현황	82.63	42.12	135.47	33.28
	개선	48.20	26.78	84.85	20.61
	증감량	-34.43			

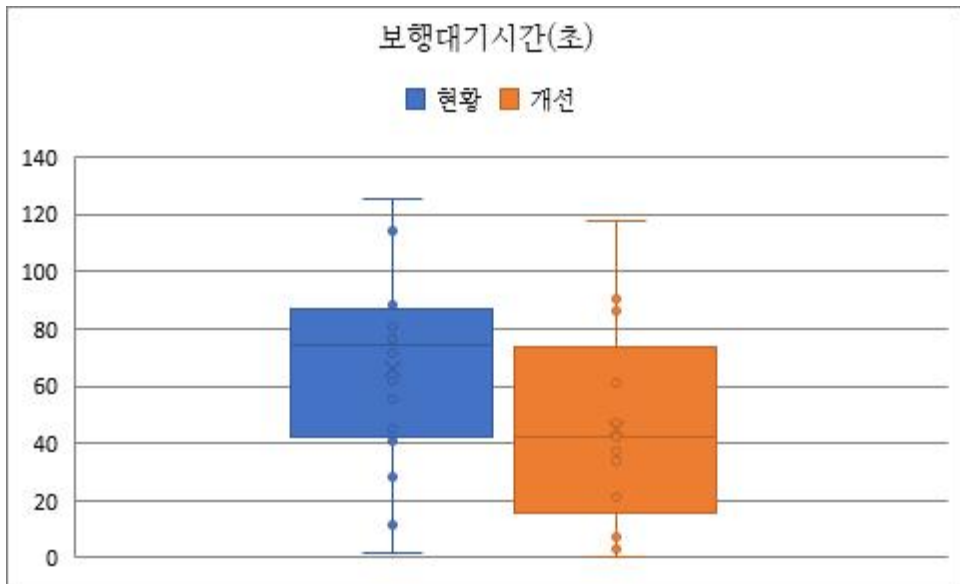
아울러 시뮬레이션 결과로 인한 보행대기시간 데이터의 분포를 파악하기 위하여 [그림 5-10], [그림 5-21], [그림 5-12]와 같이 분석 데이터를 상자수염 그래프화 하였다.



[그림 5-10] 수남삼거리 보행 평균대기시간 데이터 분포도



[그림 5-11] 고척사거리 보행 평균대기시간 데이터 분포도



[그림 5-12] 도예고사거리 보행 평균대기시간 데이터 분포도

따라서 구간 평균 차량 통행속도는 0.86%로 미미하게 감소한 반면에 보행 평균대기시간은 41.66%로 대폭 개선됨으로써 보행자우선 감응신호 알고리즘

은 감응신호 연동구간에서 최대한 주도로 차량의 흐름을 유지하면서도 보행대
기시간을 줄이는데 효과가 있는 것으로 분석되었다.

시나리오 2(개선)의 보행자 검지 Case 3은 3, 4현시에 운영 중에 보행자
CALL이 검지되면 당해 주기 종료 후 3현시(보행현시)가 가장 먼저 표출되는
방식이였다. 그러나 신호현시 순서는 일반화하기에 어려운 점이 있다. 왜냐하
면 신호현시 순서는 해당 교차로의 기하구조, 교통여건을 감안하여 차량 및 보
행자의 교통흐름을 최대한 원활하게 하는 방안으로 정해지는 것이 일반적이기
때문이다. 따라서 본 연구에서 제시한 3현시(보행현시)가 가장 먼저 나오는 시
나리오 2(개선) 외에도 3현시(보행현시)를 1현시 다음에 나오게 하는 시나리오
에 대한 시뮬레이션도 분석해 보았다.

분석 결과 구간 차량 평균통행속도는 37.33km/h에서 37.43km/h로 0.1km/
h(0.26%) 증가하였고 각 교차로별 보행 평균대기시간은 [표 5-14]와 같이
82.63초에서 68.82초로 13.81초 감소하여 16.71%가 개선되었으나 시나리오
2(개선)에 비해 20.62초(59.8%)가 오히려 증가하는 함으로써 보행대기시간 최
소화 측면에서는 시나리오 2(개선)가 개선 효과가 더 좋은 것으로 판단된다.

[표 5-14] 교차로별 보행 평균대기시간(1현시 다음 3현시 표출 시)

구분		평균	최소	최대	표준편차
수남삼거리	현황	53.83	2.28	147.11	57.60
	개선	48.46	17.02	80.83	23.19
	증감량	-5.37			
고척사거리	현황	128.28	122.59	133.97	8.05
	개선	120.65	116.21	125.08	6.27
	증감량	-7.63			
도예고사거리	현황	65.79	1.49	125.32	34.18
	개선	37.34	0.02	97.76	31.91
	증감량	-28.45			
전체 평균	현황	82.63	42.12	135.47	33.28
	개선	68.82	26.78	84.85	20.61
	증감량	-13.81			

3. 연동구간 차량 통행속도의 통계적 분석

보행자우선 감응신호 적용 전·후 연동구간 차량 통행속도의 차이 결과에 대한 통계적 유의성을 알아보기 위하여 통계적 검증(t-Test)을 실시하였다. 분석 패키지는 윈도우(Windows)환경의 SPSS(버전 25.0.0)를 사용하였으며 본 연구를 위해 설정된 가설은 [표 5-15]와 같다.

[표 5-15] 차량 평균통행속도 차이의 통계적 유의성 분석을 위한 가설 설정

구 분	내 용
가설설정	- 귀무가설 $H_0 : \theta = \theta_0 \rightarrow$ 두 집단 모평균이 동일함 - 대립가설 $H_1 : \theta \neq \theta_0 \rightarrow$ 두 집단 모평균이 동일하지 않음 여기서, θ : 현황 차량 평균통행속도 θ_0 : 개선 차량 평균통행속도

통계적 분석에 앞서 F-검정을 실시하였다. 상행의 경우 P값은 0.35로 0.05보다 크기 때문에 등분산으로 t검정을 하였고, 하행의 경우 P값은 0.019로 0.05보다 작기 때문에 이분산으로 t검정을 하였다.

보행자우선 감응신호 적용 전·후 차량 평균통행속도 차이를 통계적으로 분석한 결과는 [표 5-16]과 같다.

[표 5-16] 차량 평균통행속도 차이의 통계분석 결과

구분		평균 통행속도 (km/h)			표준편차			t-Test	
		현황	개선	차이	현황	개선	차이	t	P-Value
차량	상행	40.20	39.42	-0.78	5.49	5.37	-0.12	1.6410	0.1013
	하행	34.46	35.89	1.43	5.75	6.55	0.80	-2.6137	0.0092

상행의 경우 P-value(유의확률)가 95% 신뢰수준($\alpha=0.05$, 양측검증)에서 0.1013으로 분석결과가 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 두 모집단의 평균이 같다는 귀무가설을 기각하지 못하였고 이는 상행의 경우 보행자우선 감응신호 적용에 따라 차량 평균통행속도의 차이가 없음을 보여준다. 그러나 하행의 경우 P-value가 0.0092로 α 보다 작으므로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 따라서 두 모집단의 평균이 같다는 귀무가설을 기각하였고 이는 하행의 경우 보행자우선 감응신호 적용에 따라 차량 평균통행속도의 차이가 있음을 보여준다. 결론적으로 보행자우선 감응신호 적용 시 상행의 경우 평균통행속도 영향이 없었던 반면 하행의 경우 영향을 받은 것으로 나타났다.

제 6 장 결 론

제 1 절 연구결과 요약

본 연구는 감응신호 구간에서 보행대기시간을 최소화하기 위한 보행자우선 감응신호 알고리즘을 개발하고 이를 통해 보행대기시간 최소화 감응신호 제어 전략을 제시하는 것이다.

이를 위해 이천시 서이천로 감응신호 구간 중 보행자작동신호기가 설치되어 있는 수남삼거리 등 6개 교차로를 대상으로 감응신호 구축 전·후의 보행대기시간과 보행자 만족도를 분석을 하였고 보행대기시간 최소화를 위한 보행자우선 감응신호 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘은 기존 보행감응신호와 보행자우선 감응신호의 2가지 시나리오로 설정하였다. 독립교차로와 연동구간을 대상으로 미시적 교통 차량추종모형 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 시나리오별 분석을 하였다. 분석결과를 바탕으로 차량 지체, 통행속도 및 보행대기시간 등 3개 분석 지표에 대하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 좌회전감응신호 적용 전·후의 보행대기시간 분석 결과 좌회전감응신호 적용 후에 보행대기시간은 오전 첨두 111%, 비첨두시간에 37%, 오후 비첨두에 47%가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 기존의 차량 위주의 감응신호 제어기법은 차량 지체 감소에는 효과가 있으나 반대로 보행자는 횡단보도를 건너기 위해 더 많은 시간을 대기해야 하는 불편이 발생하였다는 것을 시사한다.

둘째, 좌회전감응신호 적용 후 보행자를 대상으로 실시한 설문 조사 분석 결과 보행대기시간이 길어졌다가 62.1%, 그 중 78%는 그로 인하여 스트레스를 받은 것으로 나타났다. 또한 보행자가 스트레스를 받는 보행대기시간 가중평균 값은 47.8초로 도출되었고 선행연구에서 보행대기시간을 60초로 권고하는 것을 감안할 때 적어도 [표 4-13] 보행 평균대기시간 분석 결과 자료에서 60초가 넘는 12 Csa의 경우 스트레스를 받는 것으로 판단된다. 보행자우선 감응신호 알고리즘 적용 시 보행평균 대기시간이 41.66 %가 감소한 결과를 적용한다면 가장 오래 기다린 보행 평균대기시간 95초는 40초 이하로 줄어들 수 있고

40초 이하는 설문조사 분석 결과에서 도출한 스트레스를 받는 보행대기시간 가중평균값 47.8초 이하가 되어 스트레스를 줄여줄 수 있을 것으로 판단된다.

셋째, 1단계 독립교차로 시뮬레이션 분석 결과 도예고사거리의 차량 평균지체는 1.88초(9%) 증가하였고 차량 통행속도는 1.65km/h(3.7%)로 소폭 감소한 반면 보행 평균대기시간은 21.45초 감소하여 33.2% 개선되었다. 2단계 연동구간 분석 결과 차량 평균 지체시간은 16.51초에서 16.31초로 0.2초(1.2%)가 감소하였고 차량 평균통행속도는 37.33km/h에서 37.65km/h로 0.32km/h(0.86%) 감소되었으며, 차량 평균통행시간은 233.42초에서 231.13초로 2.29초(0.12%) 감소하였다. 또한 4개 교차로의 전체 보행 평균대기시간은 82.63초에서 48.20초로 34.43초가 감소함으로써 41.66%가 개선되었다. 한편 신호현시는 일반화하기에 어려운 점이 있어 본 연구에서 제시한 3현시(보행현시)가 가장 먼저 나오는 시나리오 2(개선) 외에도 3현시(보행현시)를 1현시 다음에 나오게 하는 시나리오에 대한 시뮬레이션 분석도 하였으나 시나리오 2(개선)에 비해 보행대기시간이 20.62초(59.8%)가 오히려 증가하는 함으로써 보행대기시간 최소화 측면에서는 시나리오 2(개선)가 개선 효과가 더 좋은 것으로 판단된다.

따라서 보행자우선 감응신호 알고리즘 적용 시 독립교차로와 연동구간 모두 차량의 통행속도는 3.7%, 0.86%씩 소폭 감소함으로써 차량의 흐름에 영향이 미미하였던 반면 보행 평균대기시간은 독립교차로의 경우 33.2% 감소하였고 연동구간 적용 시에도 41.66% 대폭 감소하였다. 오히려 연동구간 적용 시 보행대기시간은 좀 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 결론적으로 보행자우선 감응신호 알고리즘 적용 시 독립교차로, 연동구간 모두 보행 대기시간을 줄이는데 더 효과가 있는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구의 대상지인 서이천로 4개 교차로의 기하구조 및 교통패턴에서는 위와 같은 보행대기시간 감소 효과를 얻을 수 있었고 이는 [표 4-6](도로현황), [표 4-7](서비스 수준), [표5-2]~[표 5-5](신호운영 현황) 과 같이 본 대상지와 유사한 교통특성을 가지고 있는 타 국도, 지방도, 시도의 감응신호 구간 적용 시 보행대기시간 개선 효과가 있을 것으로 판단된다.

제 2 절 연구의 의의 및 한계

1. 연구의 의의

본 연구가 제시하는 결과가 비록 후술할 몇 가지 한계점을 가지고 있지만 그럼에도 불구하고 다음과 같은 연구의 의의를 갖고 있다.

첫째, 감응신호에 대한 기존 연구들은 차량 지체를 최소화하기 위한 연구가 주를 이루었고 보행자 측면을 고려하여 보행대기시간을 줄이기 위한 연구가 미흡했던 반면에 본 연구는 차량 위주의 감응신호 구간에서 보행자를 우선하는 보행자 관점에서 시뮬레이션 분석을 통해 정량적인 평가결과를 도출함으로써 보행대기시간을 최소화하기 위한 감응신호 제어전략을 제시하였다는데 의의가 있다.

둘째, 분석 대상지와 유사한 교통특성(도로현황, 차량교통량, 보행자교통량 그리고 신호운영 현황)을 띠고 있는 교차로 또는 연동구간에는 본 연구 결과의 적용이 가능할 것으로 판단되며 본 연구 대상지의 분석 결과가 타 지역 적용 시 기준 근거가 될 수 있다고 판단한다. 또한 본 연구 대상지는 주도로 교통량이 많고 부도로 교통량이 상대적으로 적은 교통여건을 갖추고 있다. 조한선 외(2007)가 제시한 보행자작동신호기 설치 타당 기준, 즉 보행자 교통량이 90인/시 이하이고, 차량 교통량이 2,500대/시 이상의 교통패턴을 보이고 있어 보행자작동신호기 설치의 효과가 있는 구간으로 이는 차량 지체 개선에 매우 효과적인 교통패턴이나 상대적으로 보행자의 대기시간은 그 만큼 증가할 가능성이 매우 높은 구간이었다. 따라서 위와 같은 조건에 부합하는 타 지역 감응신호 구간으로 적용 시 개선 효과가 있을 것으로 보인다.

셋째, 시뮬레이션 분석 결과에서 보여주듯이 차량의 흐름에 크게 영향을 주지 않는 범위 내에서 보행대기시간은 대폭 감소되는 효과를 확인하였고 보행자 우선 감응신호 제어기법 적용 시, 차량에 비해 많이 기다려야하는 보행자의 보행대기시간을 감소시켜 보행자의 스트레스를 줄여줌으로써 보행자 신호위반과 같은 무단횡단으로 인한 보행자 안전사고 예방에도 기여할 수 있을 것이다.

넷째, 보행자를 우선하는 교통패러다임의 전환이 가시화되고 보행자 지체 최

소화에 가치를 차량 소통 원활함의 가치보다 더 우위에 둘 경우 감응신호 구간에서 충분히 적용할 가치가 있다고 판단된다.

마지막으로 본 연구에서 도출된 시뮬레이션 결과를 현장 적용하여 운영 사례를 분석하는 것도 필요한 과제이나 그러기 위해서는 우선적으로 본 연구 결과가 감응신호 관련 매뉴얼 구축에 미력이나마 근거가 될 수 있는 자료로 활용될 수 있기를 기대해 본다.

2. 연구의 한계 및 향후 과제

본 연구에서 미처 다루지 못한 연구의 한계와 향후 연구 과제를 살펴보면 다음과 같다.

본 연구의 한계점으로는 첫째, 보행대기시간 및 보행자 만족도 조사 오전 첨두, 비첨두, 오후 첨두시간대를 적용하여 실시하였다. 이는 일반적으로 교통량 조사는 대표성이 있는 오전 첨두, 비첨두, 오후 첨두 시간대를 적용하여 실시하고 있어 본 연구에서도 그 시간대를 적용하였다. 그러나 연구 대상지인 이천시 서이천로 구간은 주도로 교통량이 부도로 보다 많고 보행교통량이 적은 일반적인 지방부 국도의 교통패턴을 가지고 있어 보행교통량이 일반 도로에 비해 적을 수밖에 없는 한계가 있다. 따라서 조사 시간대를 좀 더 확장하여 조사하였다면 보행대기시간 및 보행자 만족도 설문조사의 데이터 신뢰도를 좀 더 높일 수 있지 않았을까 하는 아쉬움이 남는다. 따라서 향후 연구를 통해 조사시간 확대 적용을 통한 좀 더 많은 데이터 표본 추출이 필요할 것으로 보인다.

둘째, 시뮬레이션 분석 구간은 4개 교차로(수남삼거리~서이천삼거리)에 한정되어 있다. 서이천로는 교차로 간격이 단속류와 연속류를 띠는 구간이 혼재되고 장생이삼거리와 같이 보행자작동신호기가 미설치된 지점도 있었으며 정חק골삼거리, 도드람산사거리 등 횡단보도가 없는 교차로가 존재하고 있어 본 연구가 서이천로 감응신호구간 11개 교차로를 전체는 물론 나아가서는 이천시 서이천로 구간과 도로 교통특성이 유사하지 않은 타 지역 국도, 지방도 및 시도까지 모두 대표하기에는 한계점이 있다. 따라서 향후 이를 보완할 수 있는 다양한 교통패턴, 기하구조를 지닌 타 구간에 대한 연구가 활발하게 이루어지

길 바란다.

셋째, 보행대기시간과 보행자스트레스 상관관계 연구에 부족한 면이 있었다. 설문조사 결과 스트레스를 받았던 응답자가 연구 대상지인 이천시 지역의 보행자를 대표하기에는 부족한 점이 있었고, 조사된 보행대기시간을 공학적인 스트레스 지수화 하는 데 한계가 있었다. 이는 보행자 행태 및 심리적 요인 등에 대한 상관관계를 추가 연구하는 것이 필요하다고 판단된다.

넷째, 본 연구의 보행자우선 감응신호의 개념은 경찰청 교통신호기 설치운영 관리 업무편람에 제시된 긴급차량우선신호 운영의 여러 기법 중 현시순서변경(phase sequence change) 기법을 감응신호 구간에서 보행현시에 적용한 개념으로 조기녹색시간(early green time), 녹색시간연장(green time extension), 현시삽입(phase insert) 등의 제어 기법은 포함하지 않고 있다. 이들 기법들을 반영하려면 연구 범위가 너무 광범위하다고 판단했다. 따라서 향후 해당 기법들에 대한 추가 연구가 진행되기를 바란다.

마지막으로 본 연구에서 개발한 보행자우선 감응신호 알고리즘에 대한 효과 분석은 VISSIM 시뮬레이션을 이용한 모의실험 결과이다. 따라서 실제 현장 적용을 통한 운영 사례에 대한 추가적인 연구가 이어지기를 기대한다.

참 고 문 헌

1. 국내문헌

- 강민석. (2008). “일반국도의 주방향 소통개선을 위한 연동형 반감응 신호제어”. 서울대학교 대학원 석사학위논문
- 경찰청. (2018). 긴급차량 우선신호 시스템의 구성체계. 수록처:『긴급차량 우선신호시스템 표준규격서』. (3-7), 서울 : 경찰청
- 경찰청. (2020). 신호기 설치장소 및 운영. 수록처:『교통신호기 설치·관리 매뉴얼』. (47-49), 서울 : 경찰청
- 경찰청. (2021). 제어기능부. 수록처:『교통신호제어기 표준 규격서』. (189-190), 서울 : 경찰청
- 경찰청. (2021). 수록처:『보행자 작동신호기 설치지침』. (3-5), 서울 : 경찰청
- 경찰청. (2022). 긴급차량, 긴급차량우선신호. 『교통신호기 설치·운영·관리 업무편람』. (121-122), 서울 : 경찰청
- 곽동달. (2002). “신호제어시스템에 있어서OFFSET에 대한 고찰”, 명지대학교 대학원 석사학위논문
- 고광용. (2015). 국도 감응신호제어시스템 시범사업. 수록처:『국도감응제어시스템 설치기준 정립』. (10-56), 서울 : 도로교통공단
- 고광용, 김민성, 하동익, 이철기. (2017). 우리나라 일반국도 환경을 고려한 감응제어시스템 시범운영 효과 분석. 『한국ITS학회지』, 16(1), 01~13
- 국토교통부. (2013). 설치기준 및 운영기준. 수록처:『국도 감응신호제어체계 기본계획』. (107-122), 세종 : 국토교통부
- 국토교통부. (2021). 『국토교통부 보도자료(‘스마트 신호운영 시스템’전국으로 확대 구축합니다)』, 세종 : 국토교통부

- 김규옥, 김정민. (2004). 일반국도의 현황 및 신호제어시스템 비교. 수록처:『일반국도의 신호운영 개선을 위한 연구』. (17-36), 고양 : 한국교통연구원
- 김남선. (2010). 이론적 고찰, 감응식신호제어시스템. 수록처:『경찰의 지방부 3지 교차로 감응신호 제어 적용에 관한 정책적 연구』. (5-20), 서울 : 경찰청(치안정책연구소)
- 김상연, 고광용, 박순용, 정영제, 이철기. (2017). 긴급차량 우선신호시스템 현장운영에 따른 적용성 분석, 『한국ITS학회지』, 16(3), 95-109
- 김수희, 오영태, 이철기, 이환필, 최진호. (2011). 좌회전 감응신호제어방법 개발에 관한 연구. 『한국ITS학회지』, 10(3), 9-15
- 김승진, 이상수, 이철기, 박성균, 이호준. (2013). 반감응 신호제어의 정량적 효과 평가에 관한 연구. 『한국ITS학회지』, 12(3), 19-28
- 김영찬, 허정아. (2002). 딜레마 구간 최소화를 위한 감응식 신호제어전략의 개발. 『한국ITS학회지』, 1(1), 58-69
- 김응철, 조한선, 정동우, 김형수. (2009). 3지 교차로에서 보행자 교통량에 따른 보행자작동신호기를 이용한 신호제어효율에 관한 분석. 『대한도로학회지』, 11(3), 121-128
- 김중효, 이호원, 주두환, 정준하. (2015). 보행자작동신호기 도입 확대 방안에 관한 연구. 『대한교통학회 학술대회지』, 72회, 93-97
- 김형진. (2013). 국도 반감응 신호제어 도입 타당성 분석. 『대한교통학회 교통기술과 정책』, 10(5), 62-71
- 도로교통공단. (2016). 우선신호의 개념. 수록처:『긴급차량 우선신호 운영 매뉴얼(안)』. (1-8), 원주 : 도로교통공단
- 도로교통안전관리공단 교통과학연구원. (1998). “교통신호기 설치기준 연구 Ⅲ”. (10-11), 서울 : 도로교통안전관리공단
- 류준일, 김원철, 김형철. (2014). 교통흐름을 고려한 교통약자 우선신호 운영

- 방안 연구 : 연동화 가로구간내 횡단보도를 대상으로. 『한국ITS학지』, 13(4), 12-19
- 박순용. (2004). “지방부 독립 신호교차로에서 감응식 신호제어에 관한 연구”. 단국대학교 대학원 석사학위논문
- 박순용, 이석기, 정준화. (2013). 연동형 반감응 신호제어 시스템 적용을 위한 모의실험 검증. 『대한토목학회 학술대회』, 2013(10), 564-567
- 서지영. (2019). “도심부 Network 차원의 교통상황을 고려한 최적신호시스템 구축방안”. 공주대학교 대학원 석사학위논문
- 서지영. (2022). “Smart Signal 운영 플랫폼 개발”. 공주대학교 대학원 박사학위논문
- 석종수. (2004). 국내·외 관련 기술 동향. 수록처:『감응식 신호를 이용한 독립 교차로 운영 효율화 방안』. (9-18), 인천 : 인천발전연구원
- 설재훈, 조한선. (2005). 보행자 작동신호기 및 시각장애인용 음향신호기 도입 확대 방안. 수록처:『보행자 작동신호기 효과분석 및 도입 확대방안』. (31-35), 고양 : 한국교통연구원
- 송슬기. (2013). “감응식 신호제어 교차로의 적정 검지기 위치 산정 기법 개발”. 서울대학교 대학원 석사학위논문
- 신언교, 김영찬, 이종만. (2004). 실시간 신호제어알고리즘 개발에 관한 연구. 『대한교통학회지』, 22(7), 161-167
- 윤승섭, 양재호, 김남석. (2015). 보행자 작동신호기 설치기준 정립을 위한 적정 차량 및 보행자 교통량 추정모형. 『대한교통학회지』, 33(5), 488-496
- 은지혜. (2010). “영상검지기를 이용한 좌회전 감응식 신호제어전략 개발 및 평가”. 아주대학교 대학원 석사학위논문
- 이광봉. (2011). “연동화 가로구간에서의 보행자 중심의 감응식 신호운영 방법 연구”. 공주대학교 대학원 석사학위논문
- 이두선. (2006). “독립 신호교차로에서의 완전감응식 신호제어에 관한 연구”.

단국대학교 대학원 석사학위논문

- 이상원. (2009). “실시간 신호제어 시스템의 포화도 산정 개선 방안 연구 : 포화도X을 중심으로”. 아주대학교 ITS대학원 석사학위논문
- 이슬, 안우영, 이선하. (2017). 차량 및 보행자를 고려한 회전교차로 감응식 신호미터링 알고리즘 개발, 『한국ITS학회지』, 16(6), 55-66
- 이영인, 장근영. (2002). 신신호시스템의 신호제어 전략 및 교통축 운영성과 분석연구(영동대로와 도곡동 축을 중심으로), 『대한교통학회지』, 20(3), 193-207
- 이영태. (2010). “과포화교차로의 최적신호제어 알고리즘개발과 적용성에 관한 연구”. 경일대학교 대학원 박사학위논문
- 이인규, 김영찬. (2002). 국도신호 효율성 향상을 위한 감응식 신호의 연동제어 전략 개발. 『대한교통학회 학술대회지』, 42회, 1-6
- 이인규. (2003). “국도신호의 운영 효율성 향상을 위한 감응식 신호의 연동제어 전략 개발”. 서울시립대학교 대학원 석사학위논문
- 이정범. (2013). 대각선 횡단보도 분석. 수록처:『보행자를 위한 횡단보도 개선에 대한 기초 연구』. (75-86), 대전 : 대전발전연구원
- 이천시. (2020). 감응제어 구축방안. 수록처:『이천시 감응신호시스템 구축 실시설계 용역 보고서』. (13-27), 이천 : 이천시
- 이천시. (2021). 과업의 개요. 수록처:『이천시 감응신호시스템 교통신호DB구축 및 사전·사후평가 보고서』. (1-9), 이천 : 이천시
- 장덕명, 이병철, 김윤지. (1998). 도시부 보행자 교통신호기 설치기준 연구. 『대한교통학회지』, 16(3), 59-72
- 장태연, 오도형. (2015). 비신호 교차로에서 횡단기다림 시간 및 시도횟수에 관한 보행행태 연구. 『대한토목학회지』, 35(2), 427-436
- 조용빈. (2019). “보행 중심 단일로 횡단보도 교통신호 운영방안 연구(감응신호운영방식을 중심으로)”. 한국교통대학교 대학원 박사학위논문
- 조용빈, 김진태. (2019). 감응신호기반 보행자 중심 신호운영 단일로 횡단보도

- 검증 연구, 『한국ITS학회 학술대회』, 학술발표 SESSION II-E-스마트시티1, 441-446
- 조한선, 박지형, 노정현. (2007). 차량 및 보행자 교통량에 따른 보행자 작동 신호기의 효과 분석. 『대한도로학회지』, 9(4), 33-43
- 최봉수, 남두희. (2022). 보행대기시간과 보행자스트레스를 고려한 보행자우선 감응신호운영 방안 연구, 『한국ITS학회지』, 21(4), 18-29
- 채희철. (2020). “보행신호 1주기 2회 부여 운영 효율화 방안에 관한 연구”, 아주대학교 대학원 석사학위논문
- 채희철, 엄대룡, 윤일수. (2020). 보행신호 1주기 2회 부여 운영 방안 연구. 『한국ITS학회지』, 19(3), 14-27
- 한국철도기술연구원. (2019). 국내·외 동향 및 환경분석. 수록처:『광역교통체계 효율화를 위한 친환경 안전 Super BRT기획연구』. (73-81), 의왕시 : 한국철도기술연구원
- 황태균. (2007). “보행자작동신호기의 효과적인 설치운영에 관한 연구”. 경일대학교 대학원 석사학위논문
- 허정아. (2002). “딜레마 구간 최소화를 위한 감응식 신호제어전략의 개발”, 서울시립대학교 대학원 석사학위논문
- 홍경식, 정준하, 안계형. (2012). UTIS 기반의 긴급차량 우선신호제어 시스템 개발, 『한국ITS학회지』, 11(2), 39-47

2. 국외문헌

- Almodfer, R., Xiong, S., Fang, Z., Kong, X., and Zheng, S. (2016). Quantitative analysis of lane-based pedestrian-vehicle conflict at a non-signalized marked crosswalk. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 42, 468-478.
- Brousseau M., Zangenehpour S., Saunier N., and Miranda-Moreno L. (2013). The Impact of Waiting Time and Other Factors on Dangerous Pedestrian Crossings and Violations at Signalized Intersections : a Case Study in Montreal. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 159-172
- Chen S., Xing J., and Cao Y. (2017). The impact of waiting time on pedestrian violations at signalized intersections. *Civil Engineering and Urban Planning: An International Journal (CiVEJ)*, 4(2), 1-13
- Cheng Y.H., and Tsai Y.C. (2014). Train delay and perceived-wait time: Passengers' perspective. *Transport Rev.*, 34(6), 710-729
- Federal Highway Administration. (2008). Traffic Control System Handbook, FHWA_HOP-06-006
- Gzyl, H., & Osuna, E. E. (2013). A Further Extension of Osuna's Model for Psychological Stress. *Int. J. Contemp. Math. Sciences*, 8(17), 801-814
- Lenden, L. (2002). Pedestrian risk decrease with pedestrian flow. A case study based on data from signalized intersection in Hamilton, Ontario. *Accident Analysis and Prevention*, 34(4), 457-464.
- Li, Baibing. (2013). A Model of Pedestrians' Intended Waiting Times for Street Crossings at Signalized Intersections. *Transportation Resea-*

rch Part B : Methodological, 51, 17–28

- Li, Y. & Fernie, G. (2010). Pedestrian behavior and safety on a two-stage crossing with a center refuge island and the effect of winter weather on pedestrian compliance rate. *Accident Analysis and Prevention(ELSEVIER)*, 42(4), 1156–1163
- Manual on Uniform Traffic Control Devices(MUTCD), Federal Highway Administration, 2009
- Osaragi, T. (2004). Modeling of Pedestrian Behavior and Its Applications to Spatial Evaluation. *AAMAS '04 : Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 2, 836–843
- PTV AG, VISSIM 10 User Manual(2018).
- PTV AG, VisVap 2.16 User Manual, 2006.
- Ren, G., Zhou, Z., Wang, W., Zhang, Y., & Wang, W. (2011). Crossing behaviors of pedestrians at signalized intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2264, 65–73.
- Tiwari, G., Bangdiwala, S., Saraswat, A., & Gauray, S. (2007). Survival analysis : Pedestrian risk exposure at signalized intersections. *Elsevier Transportation Research Part F*, 10(2), 77–89.
- Van Houten, R., Ellis, R. & Kim, J. L.(2007). The effects of varying minimum green on the percentage of pedestrians waiting to cross with the WALK signal at mid-block crosswalks, *Transportation Research Record*, No. 2002–10, 78–83.
- Wang, W., Guo, H., Gao, Z., & Bubb, H. (2011). Individual differences of pedestrian behaviour in midblock crosswalk and intersection.

International Journal of Crashworthiness, 1–9.

Zhuang, X., & Wu, C. (2011). Pedestrians' crossing behaviors and safety at unmarked roadway in China. *Elsevier Accident Analysis and Prevention*, 1927–1936.

3. 기타(웹사이트)

서울시(2018). 『세계도시동향』, <https://www.si.re.kr/node/59552>

시사타임(2013). “횡단보도 대기시간 단축, 무단횡단 하지 말아요~” 2013. 08.05, 권수정 기자, <http://www.sisatime.co.kr/news/articleView.html?idxno=37082>

아주대학교 대학원 교통OB동문 홈페이지(2022). <https://m.cafe.daum.net/ajte/5UO/78>

Auri Brief(2022). [https://www.auri.re.kr/gallery.es?mid=a10303000000 &bid=0011&b_list=10&act=view&list_no=1810&nPage=1](https://www.auri.re.kr/gallery.es?mid=a10303000000&bid=0011&b_list=10&act=view&list_no=1810&nPage=1)

Tomms(2022). “행복도시 BRT버스우선신호 구축”, <https://tomms-kr.tistory.com/168>

【부 록】

1. 좌회전감응신호 적용 후 횡단보도 대기시간 만족도 조사 설문지

면 접 원		조사지역		조사일시	2020년 12월 일
-------	--	------	--	------	-------------

◆ 안녕하세요? 한성대학교 박사과정 최봉수입니다.

“좌회전감응신호 적용 후 횡단보도 대기시간 만족도 관련 연구논문” 작성을 위하여 설문조사를 진행하고자 합니다. 잠시만 시간을 내주셔서 아래의 질문에 응답해 주시면 대단히 감사하겠습니다.

◆ 본 설문은 본 연구논문 결과분석 이외의 용도에 활용되지 않음을 약속드립니다.
감사합니다.

[담당자] 최봉수 TEL : 010-5482-5320

PART- I : 기본 인적사항

◎ 다음은 설문응답자의 일반적 특성에 관련된 사항입니다. 해당하는 곳에 표시(☑)를 하시거나 기술해 주십시오.

1. 귀하의 성별은?

☐ 남 자

☐ 여 자

2. 귀하의 연령은?

☐ 20세 이하 ☐ 21~30세 ☐ 31~40세 ☐ 41~50세 ☐ 51~60세 ☐ 61세 이상

3. 귀하의 직업은?

☐ 농업, 어업, 임업, 축산업 등

☐ 상 업(백화점, 도·소매업, 음식점, 의류판매업 등의 종사자)

☐ 관리직(회사나 관청의 과장이상 경영자, 학교장 등)

☐ 전문직(의사, 약사, 예술가, 변호사, 교수, 언론인 등)

☐ 사무직(회사나 관청의 사무직, 연구직, 교사, 언론인 등)

☐ 기술직(회사나 관청의 기술부문 연구원, 엔지니어, 프로그래머 등)

☐ 노무직(공원, 배달원, 운전기사, 노무자 등)

☐ 주 부

☐ 학 생

☐ 군 인

☐ 기 타(무직 등) _____

PART-II : 횡단보도 보행자작동신호기 이용에 대한 의견

1. 보행자버튼을 눌러야만 보행신호가 나오는 보행자감응신호운영방식에 대하여 어떻게 생각하십니까?

- ① 편리하다 ② 불편하다 ③ 잘 모르겠다

2. 1번항의 “불편하다”라고 응답하신 경우 이유는 무엇입니까?

3. 보행자버튼 설치 전보다 횡단보도 대기시간이 길어졌다고 생각하십니까?

- ① 그렇다 ② 그렇지 않다 ③ 잘 모르겠다

4. 3번항의 “그렇다”라고 응답하신 경우 그로 인하여 스트레스를 받은 적이 있습니까?

- ① 그렇다 ② 그렇지 않다 ③ 잘 모르겠다

5. 4번항의 “그렇다”라고 응답하신 경우 스트레스를 받지 않고 기다릴 수 있는 최대시간은 어느 정도라고 생각하십니까?

- ① 30초 이내 ② 1분 이내 ③ 1분 30초 이내

6. 보행감응신호운영 구간에서 차량지체가 다소 있더라도 횡단보도 대기시간이 짧아지기를 원하십니까?

- ① 그렇다 ② 그렇지 않다 ③ 잘 모르겠다

7. 현재의 보행감응신호운영에 있어 개선이 필요하다고 생각되는 것은 무엇입니까? 또는 제안하고 싶은 내용이 있으면 말씀해 주십시오.

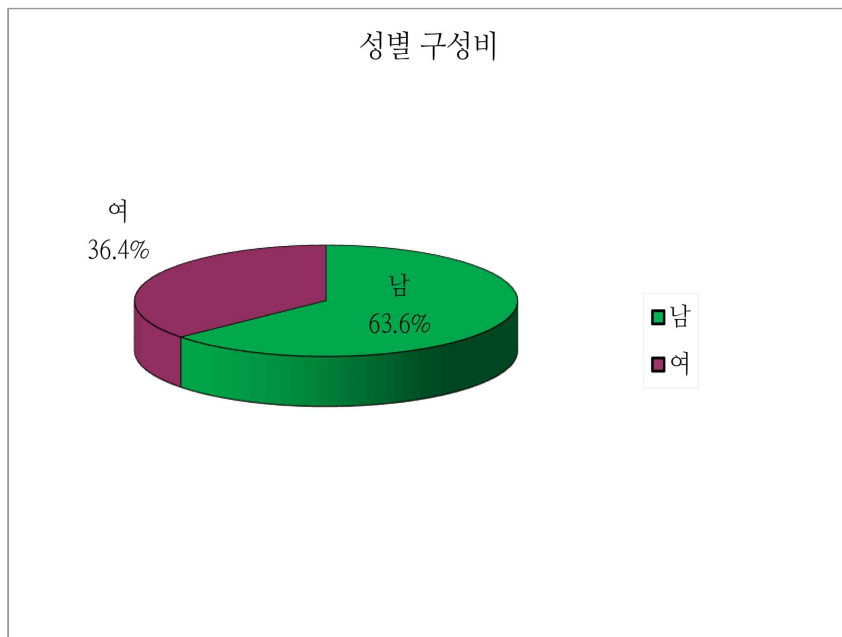
8. 마지막으로 귀하께서는 본 교차로의 횡단보도를 일주일에 몇 번 정도 이용하십니까?

2. 좌회전감응신호 적용 후 횡단보도 대기시간 만족도 조사 결과 도표

PART-1 기본 인적사항 결과

[표 1] 성별 구성비

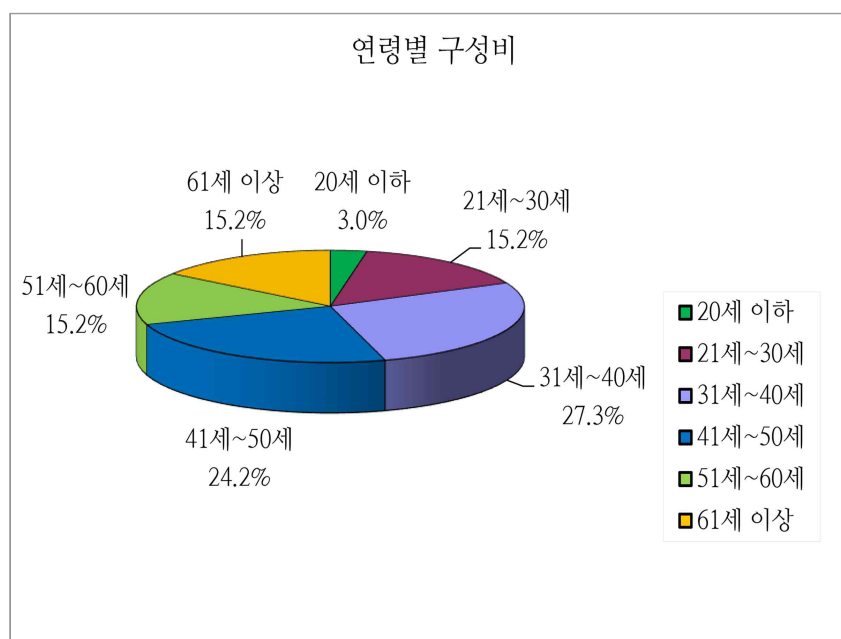
성별	빈도	%
남	42	63.6
여	24	36.4
계	66	100.0



[그림 1] 성별 구성비

[표 2] 연령별 구성비

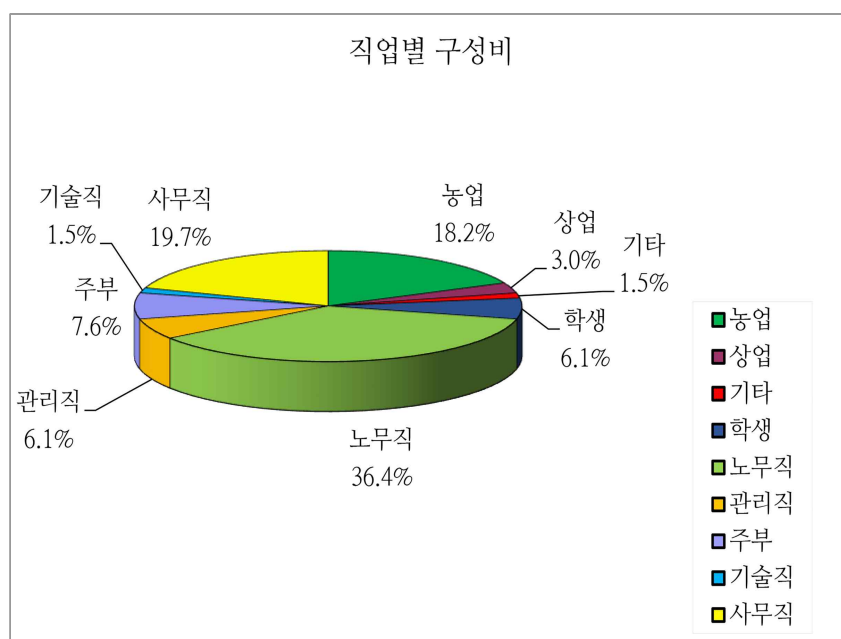
연령	빈도	%
20세 이하	2	3.0
21세~30세	10	15.2
31세~40세	18	27.3
41세~50세	16	24.2
51세~60세	10	15.2
61세 이상	10	15.2
계	66	100.0



[그림 2] 연령별 구성비

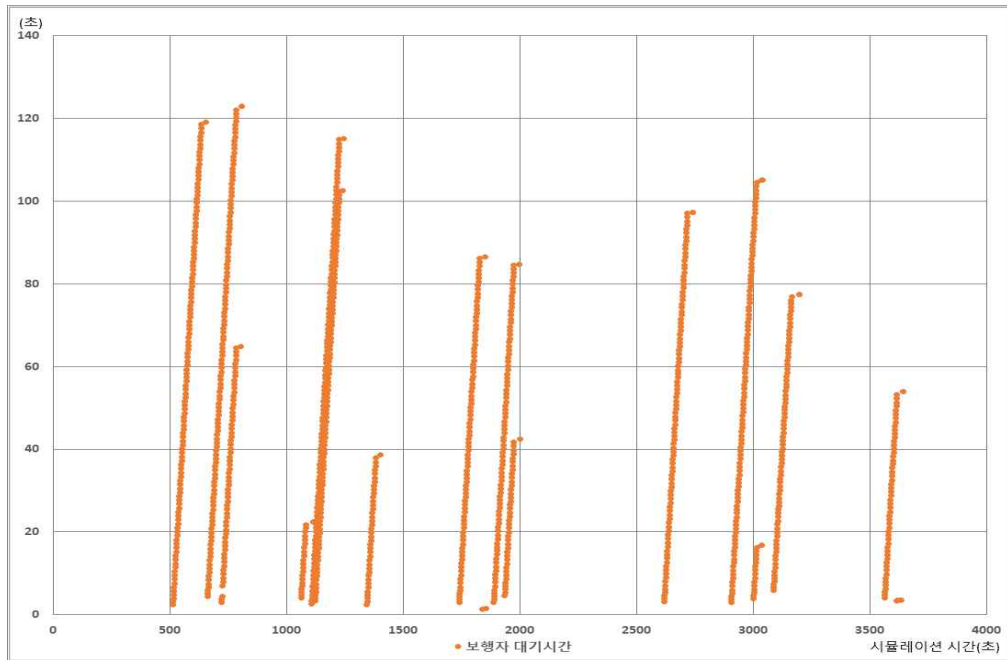
[표 3] 직업별 구성비

연령	빈도	%
농업	12	18.2
상업	2	3.0
기타	1	1.5
학생	4	6.1
노무직	24	36.4
관리직	4	6.1
주부	5	7.6
기술직	1	1.5
사무직	14	19.7
계	66	100.0

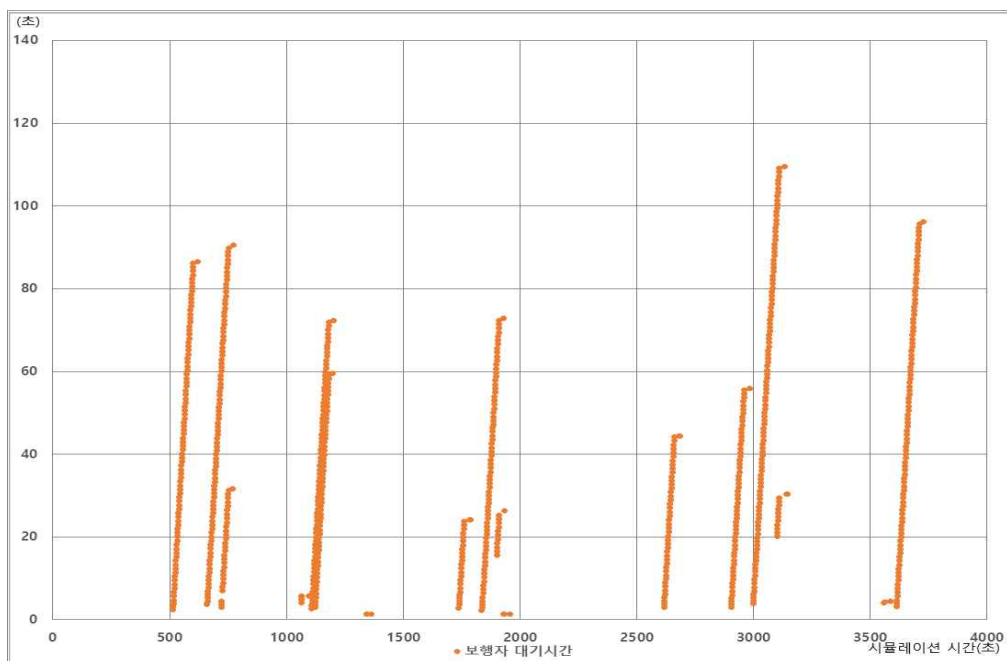


[그림 3] 직업별 구성비

3. 도예고사거리(독립) 보행자 도착 분포도

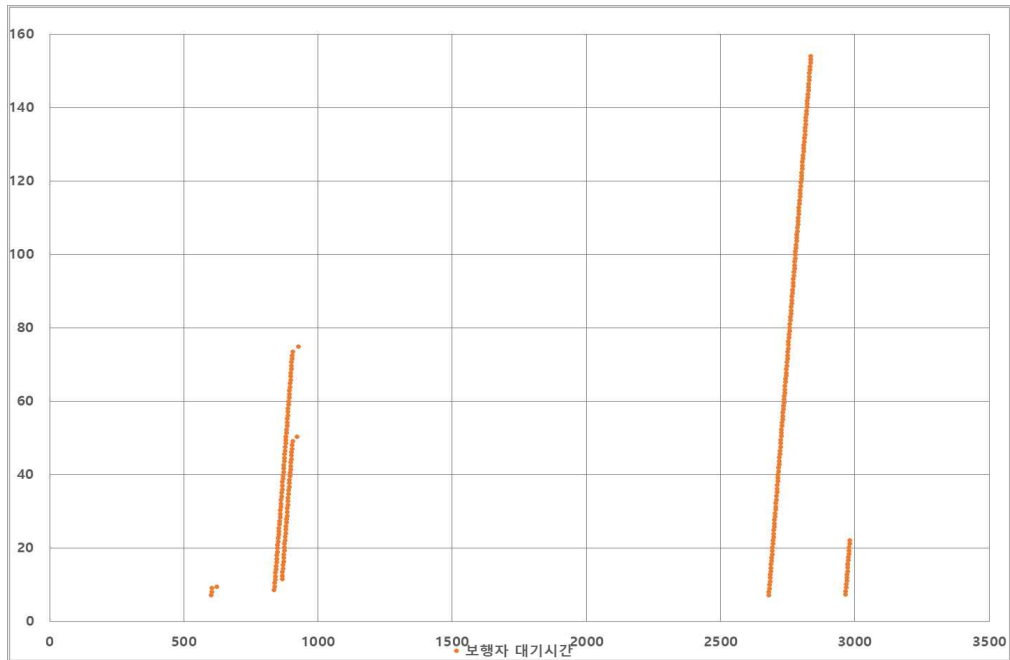


[도예고사거리(독립) 보행자 도착 분포도(현황)]

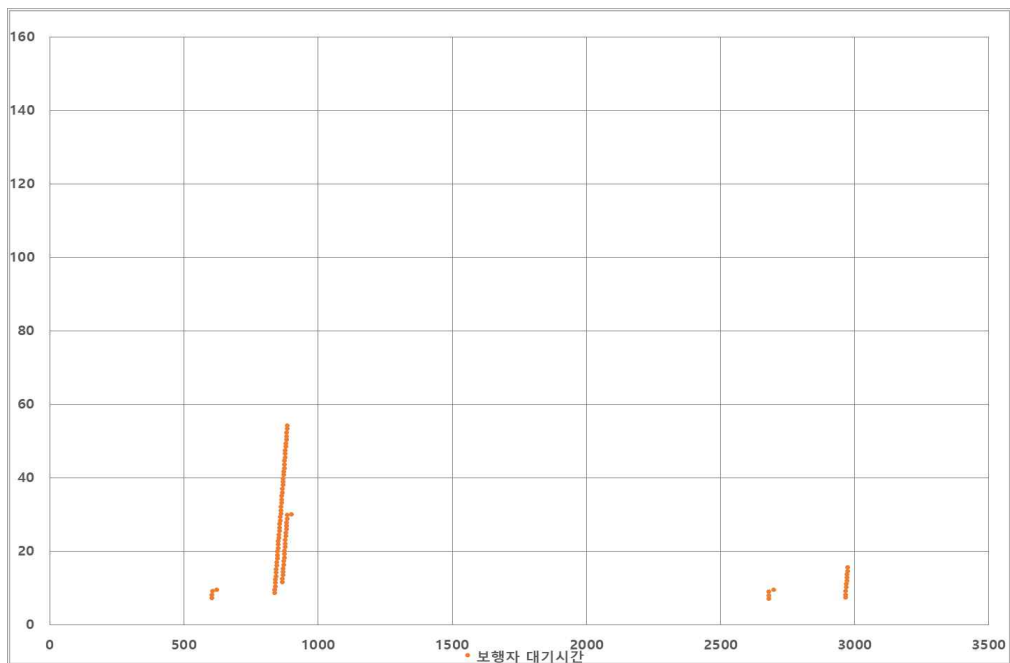


[도예고사거리(독립) 보행자 도착 분포도(개선)]

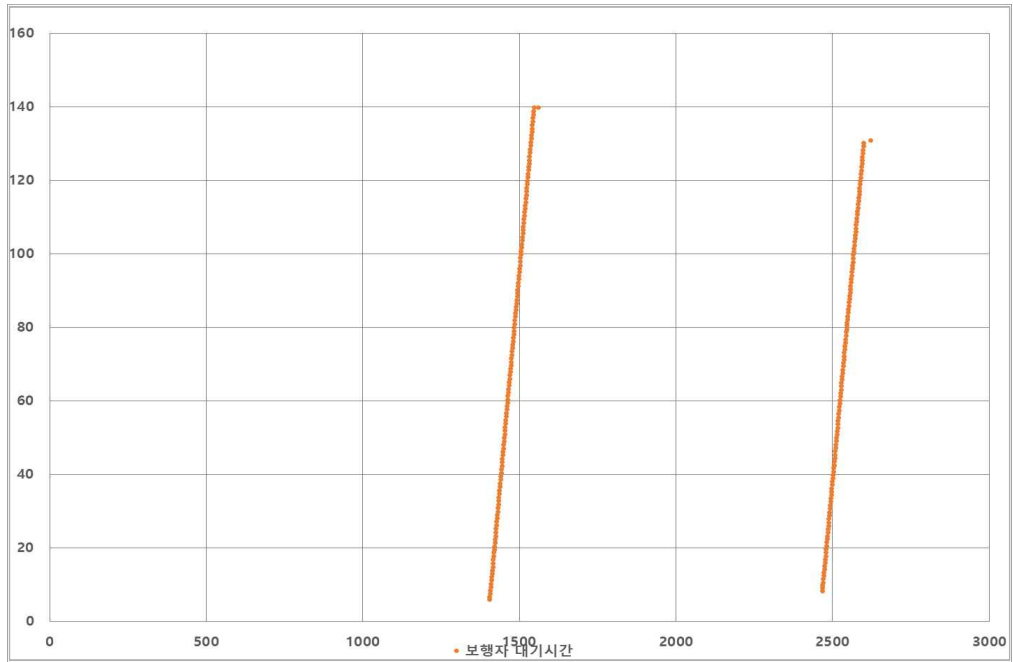
4. 연동구간 보행자 도착 분포도



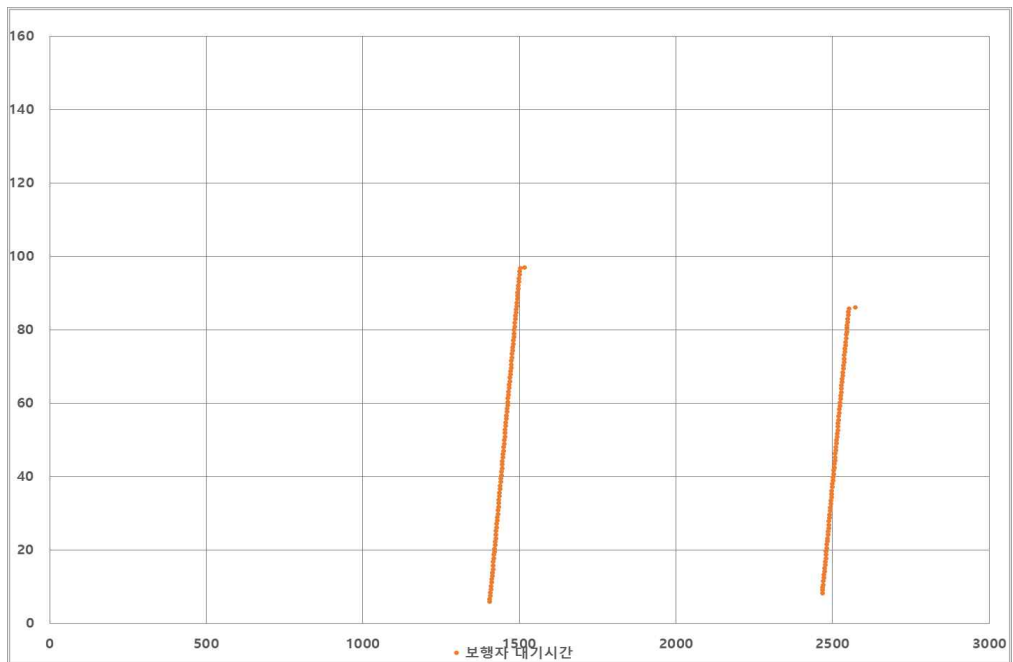
[수남삼거리 보행자 도착 분포도(현황)]



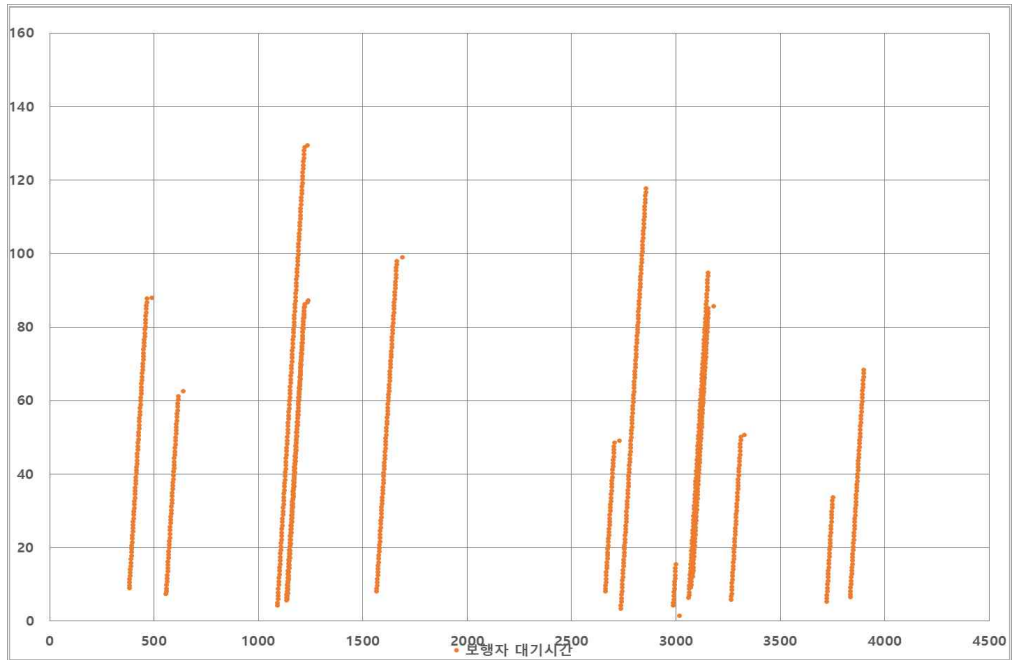
[수남삼거리 보행자 도착 분포도(개선)]



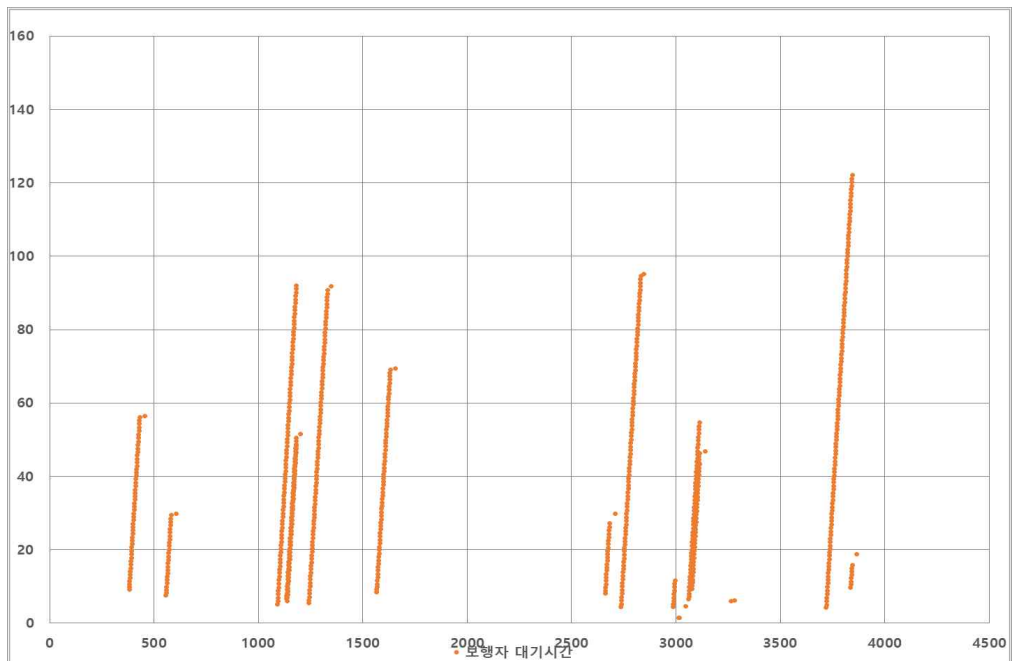
[고척사거리 보행자 도착 분포도(현황)]



[고척사거리 보행자 도착 분포도(개선)]



[도예고사거리 보행자 도착 분포도(현황)]



[도예고사거리 보행자 도착 분포도(개선)]

ABSTRACT

A Study on Actuated Signal Control Strategy with Minimized Waiting Time for Crossing

Choi, Bong-Soo

Major in Real Estate

Dept. of Economics & Real Estate

The Graduate School

Hansung University

The key to this study is to derive a pedestrian-friendly response signal control strategy by analyzing the effect of the pedestrian-first response signal algorithm to minimize waiting time for crossing in the response signal section, which is a vehicle-oriented signal operation.

No one can deny that cars are the ones that have revolutionized transportation. Therefore, cars have always been at the center of road traffic, and vehicles have always been prioritized in efforts to solve the problem of road traffic congestion. Due to this trend of traffic policy, cars were always given priority over pedestrians on the road, and the convenience and consideration of pedestrians were relatively insufficient.

In addition, cars cause human and material damage in the event of an accident due to human transportation or driver carelessness, and there is

a limit to road expansion, which always causes traffic congestion, which is becoming more serious day by day. In order to solve this problem, the vehicle communication improvement policy has always been prioritized over pedestrians, and the inconvenience of pedestrians is increasing due to the lack of interest in pedestrians, who are vulnerable to traffic on the road. Fortunately, the recent trend of global traffic policy is changing the paradigm of traffic policy with policies that prioritize not only the smooth flow of vehicles but also the flow and safety of pedestrians.

However, most traffic signals are still designed around vehicles, so the concept of pedestrian-centered design considering waiting time for crossing has not been actively applied.

The national road response signal construction project to improve the traffic speed led by vehicles is expanded and installed nationwide every year. However, this is focused on reducing vehicle delays led by pedestrians. In particular, pedestrians can receive a walking signal only by pressing the pedestrian operation signal button, and pedestrian detection by the recently introduced radar can also receive a walking signal only when the pedestrian is in the detection area.

In addition, most national road sections apply interlocking control, so even if it is detected, it can receive a signal at the time before the pedestrian signal, but if it is detected at the time of walking or the next time, it can increase the waiting time to receive the pedestrian signal, which causes inconvenience or stress, and pedestrians are exposed to traffic accidents by jaywalking. Therefore, reducing the waiting time for crossing is very important not only for the safety of pedestrians but also for the overall service level of pedestrians.

Existing studies on the validity and effectiveness of national road sensitive signals mainly focused on improving the traffic speed of vehicles,

and studies on pedestrian-friendly sensitive signal algorithms to reduce the convenience, inconvenience, and stress of pedestrians who are vulnerable to traffic were not active.

In this study, six intersections of the response signal section in Seocheon-ro, Icheon-si were selected to investigate the waiting time for crossing before and after the application of the response signal, and whether pedestrians are stressed by the waiting time for crossing through a satisfaction survey. The average waiting time for crossing increased by 11% in the morning, 37% in the non-peak, and 47% in the afternoon after the application of the sensitive signal. According to the survey results, 62.1% of the respondents said that the waiting time for crossing was longer after the installation of the pedestrian operation signal, and 78% of them were stressed due to this.

Therefore, to improve this, a control strategy was presented through a pedestrian-friendly pedestrian priority signal algorithm that reflects pedestrian convenience within the range of minimizing vehicle delays, and MOE (delay time, average traffic speed, etc.) and waiting time for crossing were compared and analyzed through simulation using a microscopic decision model, VISIM. As a result of analyzing the pedestrian priority response signal algorithm, the average vehicle delay time in the section decreased by 0.2 seconds (1.2%), the average traffic speed in the section decreased by 0.32 km/h (0.86%), and the average traffic time in the section decreased by 2.29 seconds (0.12%). On the other hand, the average waiting time for crossing at the four intersections decreased by 34.43 seconds, significantly improving by 41.66%.

While previous studies on sensitive signals have been insufficient to reduce waiting time for crossing considering pedestrian aspects, this study suggests a strategy to control sensitive signals to minimize waiting time for crossing by deriving quantitative evaluation results from a pedestrian

perspective. In addition, it is judged that the results of this study can be applied to intersections or interlocking sections that have road geometry, vehicle traffic, and pedestrian traffic similar to the analysis target site. In addition, using the pedestrian-first response signal operation plan is expected to help ease pedestrian stress by reducing waiting time for crossing, and it is expected to improve pedestrian safety, convenience, and traffic. In addition, it is expected that it can be used as an alternative to the operation of pedestrian-friendly response signals in the future left-turn response signal construction project.

Finally, the results presented in this study are considered to be applicable in the response signal section if the value of minimizing waiting time for crossing is superior to the vehicle-centered value in the response signal section despite some limitations of the study.

【Key words】 Reft-turn actuated signal, Waiting time for crossing, Pedestrian stress, Pedestrian Push-Button, Pedestrian priority actuated signal