

고속도로 재난/재해에 따른 인접교차로 최적 운영방안

Adjacent to the Highway Intersection, According to the Disaster, the Optimal Operating

강진웅 Kang, Jin Woong
권영혁 Kwon, Young Hyuk
이문영 Lee, Mun Young
최재영 Choi, Jae Young
금기정 Kum, Ki Jung

정회원 · (주)동해종합기술공사 (E-mail : gd173@hanmail.net)
(주)경봉 (E-mail : sigurboy@naver.com)
명지대학교 공과대학 교통공학과 박사과정 (E-mail : ssklmy@hanmail.net)
명지대학교 공과대학 교통공학과 박사과정 (E-mail : choijjyy@hanmail.net)
정회원 · 명지대학교 공과대학 교통공학과 교수 (E-mail : kjkum@mju.ac.kr)

ABSTRACT

This research overcomes limit of prevention of disasters connection manual that was stopping in existing administrative formality presentation, and allowed purpose in substantial prevention of disasters countermeasure presentation through powerful engineering access. Did operation plan manual Tuesday in contiguity crossing that can reduce confusion by vehicles that detour by contiguity IC of disaster point to do unusualness ashes in freeway section for this and solve jam-up phenomenon that occur by processing way insufficiency for roundabout way vehicles when happen. Metropolitan areas to target type classification in the highway along the highway adjacent to the intersection at Main Line Blocking optimum operating point analysis and an analysis of countermeasures in case of disaster, the lower the road entering the highway depending on the type of operating at the intersection were different. Depending on the results of analysis, while each point of a disaster, according to the characteristics of geometric conditions, traffic conditions, identify and determine the operating room and the adjacent intersection of media, and building systems to promote the driver if the quick initial response from the impending disaster situations and the safety of drivers can be considered secure.

KEYWORDS

traffic signal, crossroad operation, highway disaster prevention, highway detour

요지

본 연구는 기존 행정적 절차 제시에 그치고 있는 방재관련 매뉴얼의 한계를 극복하고, 공학적 접근을 통한 실질적인 방재대책 제시에 목적을 두었다. 이를 위해 고속도로 구간 내 비상재해 발생 시 우회차량에 대한 처리방안 미흡으로 생기는 교통정체현상을 해결하고자 재난/재해 지점의 인접 나들목으로 우회하는 차량들의 혼잡을 줄일 수 있는 인접교차로 운영방안을 매뉴얼화 하였다. 수도권 내 고속도로를 대상으로 유형구분에 따라 고속도로 본선 차단 시 인접교차로 운영 시점 분석 및 최적 대응방안을 분석한 결과 고속도로 재난/재해 발생 시 하부도로 진출 형태에 따라 교차로 운영시점이 다르게 나타났다. 분석 결과에 따라 재난/재해 발생 동시에 각 지점 특성에 맞는 교통조건 기하조건을 파악하여 인접교차로 운영 방안을 판단하고 언론 및 운전자에게 홍보할 수 있는 체계를 구축한다면 긴박한 유고상황에서 신속한 초기대응과 운전자들의 안전을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어

교차로운영, 교통신호, 고속도로 방재, 고속도로 우회

1. 서론

1.1. 연구 배경 및 목적

최근 기후변화에 따른 쓰나미 등과 같은 자연재해로 인한 피해사례가 증가하고 있으며, 화재사고와 같은 대형사고의 위험성이 점점 증가하고 있다.

특히 고속도로 내에서 안개, 폭우, 폭설, 유고발생 등 비상재해가 발생하였을 때 우회차량에 대한 신속한 처리방안 미흡으로 교통정체현상이 더욱 심각해지고, 국민의 생명을 위협할 수 있다. 또한 고속도로 재난/재해 시 고속도로 유고발생지점 인접교차로로 차량이 몰리면서 예상치 못한 교통정체와 혼잡발생으로 인하여, 초기 대응 실패 및 신속한 구난 절차가 지연됨에 따라 인적, 물적 피해가 급증할 수 있다. 실례로 2010년 중동 나들목 부근에서 발생한 교각 화재가 발생하였을 때 인접교차로에 대한 대응방안이 미흡하여 초기 대응이 지연되었고, 고속도로 본선 전차로 차단 3일이 경과한 후에 인접교차로에 대한 대응방안이 제시되었다. 고속도로를 건설하고 관리·운영하는 한국도로공사의 초기 대응이 지연됨에 따라 이 구간을 통과하는 교통이용자의 불편은 매우 크게 나타났으나, 인접교차로 운영에 대한 효율적인 방안이 제시됨에 따라 이로 인한 파급효과는 잠재울 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 고속도로 재난/재해 시 변수 유형에 따른 인접교차로 운영시점 및 적용방안에 대한 매뉴얼화를 통해 비상상황에 대한 신속한 대처능력을 향상시키고자 한다.

1.2. 연구 내용 및 수행과정

본 연구에서는 고속도로 본선의 전차로 차단에 따른 대응방안으로 인접교차로 운영시점 및 최적 대응방안을 분석하였다. 고속도로 교통지체에 영향을 미치는 변수들을 유형 구분에 따라 첫째, 교통량 관련 변수, 둘째, 기하구조 관련 변수로 선정하였다. 교통량 관련 변수로는 고속도로 본선과 하부도로 교통량으로 구분하였고, 기하구조 관련 변수로는 나들목 유형, 하부도로 진입형태, 인접교차로 유형으로 구분하였다. 선정된 변수들을 바탕으로 각 유형조합에 따른 시나리오를 만들어 미시적 프로그램인 VISSIM을 이용하여 인접교차로 운영시점과 최적 대응방안을 제시하였고, 그에 따른 고속도로 재난/재해 시 인접교차로 운영 매뉴얼을 제안하게 되었으며, 이에 따른 본 연구의 수행과정은 그림 1과 같다.

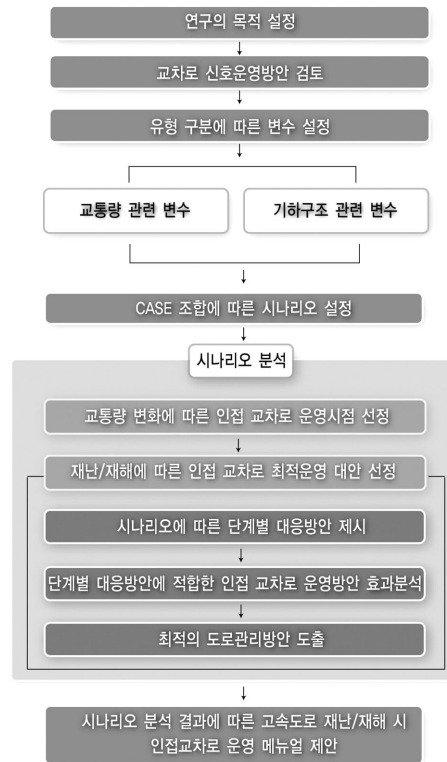


그림 1. 연구의 수행과정

2. 기존 연구 고찰

기존 연구고찰에서는 선행된 고속도로 방재에 관련된 연구 및 현재 적용되는 매뉴얼을 살펴보고, 교차로 신호 운영에 관하여 이론적 고찰을 통해 본 연구의 적용가능성을 검토하였다.

2.1. 방재 및 신호운영 관련 연구 고찰

조효희 외 1인(2007)은 침수 시 대응방안에 따른 통행시간 연구에서 재난으로 인한 유고상황 발생 시, 여러 가지 교통운영관리 방안을 통해 가장 효율적인 대피방안(신호연동, 비상신호 Mode)을 시뮬레이션(VISSIM)을 이용하여 구체적인 대피경로별 통행시간, 지체시간, 교통량 등을 제시하였으나, 집중호우라는 한 가지 자연재해에 국한된 연구로 도로시설 및 연결로에 대한 제반 상황을 고려하지 않았다.

손영태(2009)는 지역특성을 고려한 교통방재시스템 구축 및 활용에 관한 연구에서 청주시를 대상으로 교통방재시스템 중 대피경로 지정 및 교통운영방안(영향권 정의 및 신호운영방안제시)을 통해 교통방재시스템(예방 → 대비 → 대응 → 복구) 구축방안을 제안하였다.

건설교통부 재해대책편람(2004)에서는 재난을 자연

재해와 인위재난으로 분류하였다. 이 중 풍수, 설해, 결빙, 지진, 안개, 황사, 가뭄 등은 재해분류를 통해 대응체계를 제시하였고, 이를 수자원, 도로, 항공, 철도, 도시철도, 육상수송, 주택건축분야로 나누어 매뉴얼을 제시하였다.

한국도로공사 고속도로 대형재난사고 종합 대응체계 연구(2008)에서는 고속도로 재난유형별(풍수해, 설해, 안개, 지진, 터널)에 따른 현장조치 매뉴얼을 수립하였다. 하지만 위 두 연구 모두 운영자 측면의 행정적 절차를 매뉴얼화한 것에 그쳐 공학적 접근이 이루어지지 않고 있다.

김수희(2007)는 과포화 교통축에서의 비공통주기기반 신호운영방법론 개발에서 도시부도로 교통축 과포화시, 과포화 진행 상황에 따라 일시적으로 중요교차로의 주기를 증가시켜 인접교차로와의 옅셋의 파괴영향을 최소화하는 신호 운영방법론을 개발하였으나, 구체적인 영향범위 설정 방법이 제시되지 않아 실제상황에 적용하기에는 한계가 있는 것으로 나타났다.

임광수 외 2인(2007) 신호최적화를 통한 도시고속도로 진출램프 신호제어 모형 개발에서 도시고속도로 진출램프와 간선도로의 교통량, 링크길이, 대기행렬길이 등을 변수로 설정하여 선형계획법을 통한 링크의 지체 시간 최소화 및 간선도로 교차로와 연동제어가 가능한 진출램프 교차로의 신호시간을 제시하였다. 다만 고정된 링크길이 적용으로 다양한 기하구조조건 및 교통상황을 반영하지 못했다는 단점이 발견되었다.

양충현 외 3인(2009)은 재난·재해 시 대피 및 우회 차량 경로제공 알고리즘 개발을 통해 비상사태 발생 시 교통망에 근거한 동적 대피 및 우회경로 제공을 위한 알고리즘을 동적 최단 경로 탐색기법과 동적통행배정모형을 기반으로 개발하였으나 다양한 시나리오에 대한 검증이 미흡하였다.

2.2. 기존 연구 검토 결과

문헌에 대한 고찰 결과 지금까지 교통방재시스템에 관한 연구는 주로 재난에 대한 전반적인 대책을 제시하는 것으로 거시적인 시각에서 접근하고 있었다. 또한 국가차원의 연구 및 매뉴얼 역시 운영자 측면의 행정적 절차 위주로 구성되어 실제 운영하는데에는 미흡한 것으로 분석되었다. 현재 한국도로공사에서 운영하는 매뉴얼로는 고속도로 재난/재해 발생 시 신속한 초기 대응이 어려우므로 공학적인 접근을 통한 구체적인 운영방안을 매뉴얼로 재구성하여 현장에 적용할 필요가 있다. 특히 재난/재해 시 고속도로 우회 차량들이 인접교차로

로 집중될 것에 대비하여 교차로 운영에 대한 초기 대책을 세워야 한다. 이를 적용하기 위해 관련 문헌을 살펴본 결과 신호 제어관련 논문들은 과포화 상태에서의 신호 운영방법론을 개발하였으나, 다양한 상황들을 구체적으로 고려하지 않아 대표성을 찾지 못하는 한계를 가지고 있었다. 따라서, 본 연구에서는 행정적 절차의 매뉴얼이 아닌 실질적으로 적용할 수 있도록, 나들목 기하구조 및 교통량 유형에 따른 인접교차로 운영방안을 통해 구체적인 재난/재해 대응방안을 제시하고자 한다.

3. 기존 고속도로 비상재해 대응방안 고찰

3.1. 고속도로 비상재해 대응방안

고속도로 관리·운영기관인 한국도로공사는 「고속도로 대형 재난사고 종합대응체계연구」(2008)에서 도로 비상재해에 대한 대책을 제시하였다. 특히, 고속도로 재난유형별(풍수해, 설해, 안개, 지진, 터널)로 구분하여 대응절차를 제시하였고, 비상재해의 심각성을 감안하여 전국 고속도로 15개 노선의 58개소(약 157km)를 취약구간으로 분류하여 관리하고 있다. 하지만 운영자 측면의 행정적 절차만을 강조하며, 재난/재해 발생 후 재난 상황에 따른 고속도로 본선구간의 대응만을 고려하고, 우회하는 차량들의 상충으로 발생하는 추가적인 지체에 대한 대응방안이 그림 2에서 보는 바와 같이 미흡한 것으로 나타났다. 원활한 초기 대응을 위해서는 나들목, 인접교차로의 기하구조 및 교통량에 따른 구체적인 상황에 대한 대응방안이 필요한 실정이다.

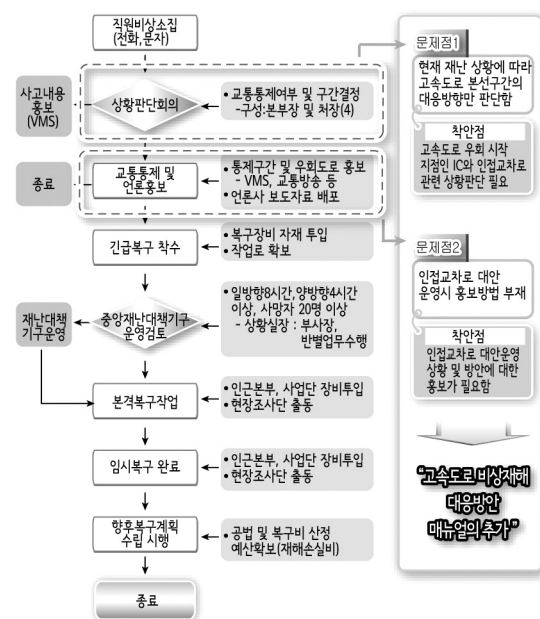


그림 2. 기존 고속도로 비상재해 대응방안의 문제점

또한 재난/재해 시 인접교차로 운영을 위한 적절한 홍보방법이 없어 재난/재해에 따른 인접교차로 운영 상황이 도로이용자에게 신속하게 전달되지 않아 운전자로 하여금 혼란을 야기시킬 수 있어 이에 대한 추가적인 매뉴얼 제시가 필요하다.

3.2. 고속도로 우회방안

기존 고속도로 우회방안을 살펴보면 2004년 경부고속도로 재난(폭설) 발생 이후 우리나라 고속도로에도 비상재해에 대응하는 대피로가 그림 3과 같이 준비되어 있으나, 비상대피방안은 불분명한 상태이다. 특히 재해 현장 가까운 곳에 비상대피로가 있어도 도로관리자가 중앙분리대 개방 혹은 비상연결로 연결 등을 해줄 때까지 도로이용자는 기다리고 있어야 하며, 연결로 자체도 폭 4m 정도의 농로 혹은 지방도 등으로 연결되어 통행 능력이 제한되고, 경로안내 또한 부족한 실정이다.

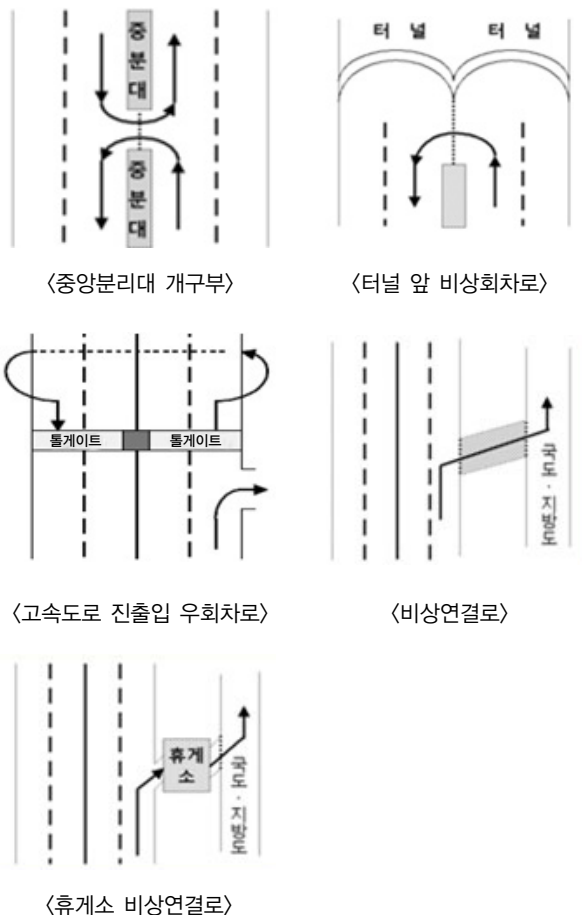


그림 3. 비상재해 시 고속도로 대피방안

3.3. 고속도로 비상재해 대응방안 고찰 결론

기존 고속도로 비상재해 대응방안 검토 결과 도로운

영자의 거시적인 행정적 절차와 비효율적인 우회방안을 제시하고 있었다. 재난/재해 발생 시 고속도로의 본선 차량들의 효율적이고 신속한 대피 경로 확보를 위해 고속도로 본선의 혼잡만을 생각하는 1차적인 방재전략이 아닌 교통 결절점에 해당하는 나들목과 인접교차로에 대한 우회관리 전략이 필요한 것으로 나타났다. 이를 위해 본 연구에서는 재난/재해 시 우회하는 차량이 실질적으로 영향을 받는 요소들을 반영하고, 재난/재해 발생지점에서 가장 인접한 교차로 운영 시점 및 최적방안을 분석하여 이를 방재 매뉴얼에 추가하고자 한다.

4. 시나리오 선정

수도권 고속도로를 대상으로 방재시스템의 대표성을 확보할 수 있는 분석을 하기 위해 변수 조합에 따른 유형별 시나리오를 설정하였다. 시나리오 설정은 교통조건과 기하구조 조건 두 가지를 조합하여 선정하였다. 교통조건은 시간대별 교통량으로 구분하였고, 기하구조 조건은 나들목 형태, 고속도로에서 하부도로로 진입하는 위치, 인접교차로 유형으로 구분하여 시나리오를 구성하였다.

4.1. 분석대상 설정

분석대상은 전국 고속도로가 아닌 수도권 내 고속도로와 인접교차로로 한정하였으며, 본 연구에서 인접교차로란 우회도로로 진입하는 나들목의 첫 번째 교차로로 정의하였다. 그림 4에 나타난 지역별 서비스수준을 볼 때 수도권이 다른 지역에 비해 고속도로의 낮은 서비스 수준, 교차로의 지·정체 발생정도가 심한 것으로 판단하여 재난/재해 발생에 대비한 인접교차로 운영방안의 검토대상지로 선정하였다.

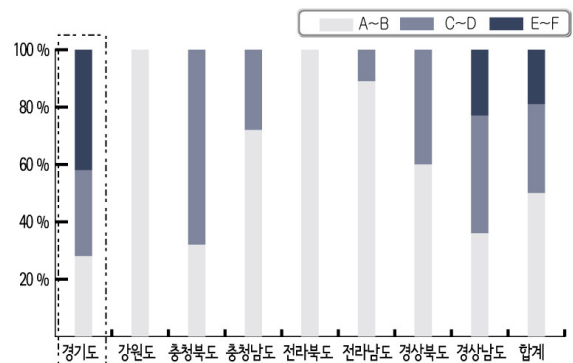


그림 4. 지역별 서비스수준

참고 : 교통량 정보제공 시스템 홈페이지

다시 말해 수도권 내의 지속적인 고속 교통수요의 증가와 함께 유·출입부 또는 인접교차로의 상습 지·정체 등은 비수도권에 비해 더 많은 교통 혼잡이 발생하게 되므로, 재난/재해 발생 시 엄격한 운영방안이 수립되어야 한다. 이를 위해 수도권 고속도로 기하구조 측면(하부도로 진입위치, 나들목과 인접교차로 유형)을 고려하여 최종적인 분석구간을 선정하였다.

4.2. 교통조건 변수 유형 구분

재난/재해 발생 시 인접교차로 최적 운영 대안의 당위성을 찾고자 시간대별로 가변적인 교통량 조건을 달리하였으며, 교통량 조건은 첨두시 교통량, 주간 평균 교통량, 야간 평균교통량으로 구분하여 분석하였다. 첨두시간은 오전 첨두 07시~09시와 오후 첨두 18시~20시, 주간 교통량은 09시~18시, 야간 교통량은 20시~06시를 기준으로 구분하였다. 또한 운영방안 시점을 분석하기 위해서 인접교차로 진입형태에 따라 교통조건을 구분하였다. 우측 진입형태의 경우 하부도로와 고속도로 본선 교통량의 합을 기준으로 분석하였고, 전차로 진입형태는 고속도로 교통량을 기준으로 분석하였다.

4.3. 기하구조 변수 유형 구분

시나리오 설정을 위한 기하구조 변수로는 나들목과 인접교차로의 유형 변수를 설정하였다. 기하구조는 나들목의 유형과 진입형태로 구분하였고, 인접교차로 유형을 구분하였다. 인접교차로 진입형태는 재난/재해 시 고속도로 본선에서 대피하여 인접한 램프를 통해 하부도로로 진입할 때 진입하게 되는 위치(형태)로 정의하였고, 전차로 진입형태, 우측차로 진입형태로 구분하였다. 그림 5의 첫 번째 그림은 우측차로 진입형태의 대표적인 클로버형 나들목 유형이고, 두 번째 그림은 전차로 진입 형태로 영업소가 존재하는 트럼펫형 나들목이다.

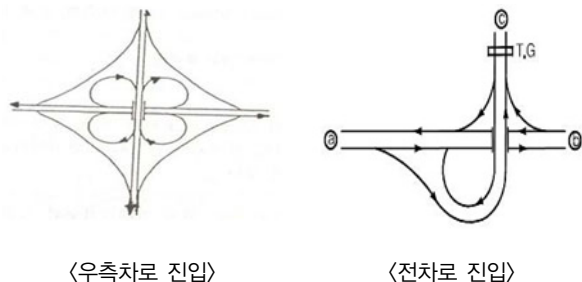


그림 5. 고속도로 진출형태

표 1과 같이 수도권 내 고속도로¹⁾ 나들목의 형태와 진입형태 현황을 조사한 데이터를 바탕으로 여러 유형에 대한 대표성을 확보하였다.

표 1. 수도권 나들목 형태 현황

나들목 형태	진출형태	경인 선	서해안 선	제2경인 선	영동 선	경부 선	서울 외곽선	중부 선	합 계
다이아몬드	전차로	-	-	-	-	-	-	-	-
	우측차로	4	-	-	-	-	4	-	8
직결형	전차로	-	-	-	-	-	-	-	-
	우측차로	-	-	-	-	-	2	-	2
클로버	전차로	2	-	-	-	-	-	-	2
	우측차로	-	1	2	-	2	3	-	8
트럼펫	전차로	-	6	2	2	4	1	1	16
	우측차로	-	-	1	9	1	8	3	22
합 계		6	7	5	11	7	18	4	58

수도권 내 가장 많이 존재하는 나들목 형태는 트럼펫형으로 오른쪽 차로에서 하부도로로 진입하는 형태가 가장 많았고, 다음으로 트럼펫형에서 전차로로 진입하는 형태, 클로버형에서 오른쪽 차로로 진입하는 형태 순으로 분석되었다. 유료도로인 고속도로 특성상 폐쇄식 영업소의 건설이 가장 적합한 트럼펫 형태가 가장 많았으며, 수도권에서는 개방식 영업소 형태인 클로버, 다이아몬드 형태가 많은 것으로 조사되었다.

인접교차로의 유형은 교차로 형태에 따라 교차로 운영방안이 다르므로 삼지, 사지, 입체교차로로 구분하여 조사하였다. 그 결과 표 2와 같이 가장 많은 인접교차로 형태는 사지 교차로로 조사되었고, 그 다음은 삼지 교차로, 입체 교차로 순으로 나타났다.

표 2. 수도권 인접교차로 형태 현황

구 분	삼지 교차로	사지 교차로	입체 교차로	합 계
경부	2	4	3	9
영동	4	5	2	11
외곽	8	10	4	22
경인, 제2경인	5	6	-	11
서해안	3	1	3	7
중부	1	3	-	4
합계	23(35.9%)	29(45.3%)	12(18.8%)	64(100%)

1) 경인고속도로, 서해안고속도로(인천~서평택), 제2경인고속도로, 중부고속도로(서울~일죽C), 영동고속도로(인천~이천C), 경부고속도로(서울~안성C), 서울외곽고속도로

4.4. 시나리오 선정

위의 교통 조건과 기하구조 조건을 통해 그림 6에 나타난 IC 유형, 하부도로 진입 위치, 교통량 변수, 인접교차로 유형 등을 최종적인 변수로 선정하였다. 단, 나들목 유형에서 수도권 내 2개만 존재하는 직결형은 제외하였고, 인접교차로 유형에서도 가장 적은 입체교차로는 시나리오 설정에서 제외하였다. 최종적으로 선택된 인접교차로 우회 변수들을 조합하여 표 3과 같이 24개의 시나리오를 선정하였다.



그림 6. 시나리오 선정 변수

표 3. 분석을 위한 시나리오 선정

시나리오	나들목 유형	하부도로 진출위치	교통량 변수	인접교차로 유형
시나리오1	다이아몬드	우측차로	첨두시	삼지
시나리오2				사지
시나리오3			주간평균	삼지
시나리오4				사지
시나리오5			야간평균	삼지
시나리오6				사지
시나리오7	클로버	우측차로	첨두시	삼지
시나리오8				사지
시나리오9			주간평균	삼지
시나리오10				사지
시나리오11			야간평균	삼지
시나리오12				사지
시나리오13	트럼펫	우측차로	첨두시	삼지
시나리오14				사지
시나리오15			주간평균	삼지
시나리오16				사지
시나리오17			야간평균	삼지
시나리오18				사지
시나리오19		전차로	첨두시간	삼지
시나리오20				사지
시나리오21			주간평균	삼지
시나리오22				사지
시나리오23			야간평균	삼지
시나리오24				사지

5. 분석방법

선정된 시나리오는 미시적 시뮬레이션 툴인 VISSIM으로 교차로 운영시점과 시나리오별 최적대안을 분석하였다. 첫째, 교차로 운영시점 선정 분석은 재난/재해 시 나들목별 증가하는 교통량에 따른 지체가 급증하는 부분을 찾아 실질적인 교차로 운영시점을 제시하였고, 둘째, 각 시나리오별 최적 인접교차로 운영방안을 제시하였다.

5.1. 교차로 운영시점 분석

고속도로 교통량이 적은 시간대에서는 재난/재해로 인해 본선의 전차로가 차단되더라도 인접교차로에 큰 영향을 미치지 않았다. 결국 재난/재해 시 본선 교통량의 정도에 따라 인접교차로에 대한 운영을 긴급 상황으로 적용해야 하는 시점이 결정되어진다. 이러한 대응방안 적용시점을 알기 위해 인접교차로로 향하는 교통량에 변화를 주며 분석하였다.

기하구조 변수 유형구분에서 설명하였듯이 교통량 변화조건은 우측차로 진입 형태의 경우 하부도로 교통량과 고속도로 교통량의 합으로 설정하였고, 전차로 진입 형태의 경우 영업소를 통과하여 교차로로 진입하는 형태이므로 고속도로 교통량으로 분석하였다.

이때, 영업소 용량은 일반 영업소 용량과 하이패스부스 용량을 합한 것으로 각 용량은 차두시간으로 계산하였다. 일반 영업소 평균 차두시간은 15초로 용량은 240대/시이고, 하이패스의 평균 차두시간은 3초로 용량은 1,200대/시로 정의하였다.

또한 전차로 진입 형태에서는 영업소를 반영하여 영업소 유무에 따른 지체변화도 고려하였다. 표 4와 같이 진입형태에 따른 기하구조로 우측차로 진입형태는 다이아몬드형(도하 나들목, 부평 나들목), 클로버형(양재 나들목), 트럼펫형(서하남 나들목) 총 4개 나들목을 대상으로 분석하였고, 전차로 진입형태는 트럼펫형(오산 나들목, 안성 나들목)으로 총 2개 나들목을 대상으로 분석하였다.

총 6개의 나들목에서 교통량의 변화에 따라 평상시와

표 4. 분석을 위한 나들목 선정

진입형태	나들목 형태	해당 나들목
우측차로 진입	트럼펫	서하남 나들목
	다이아몬드	도하, 부천 나들목
	클로버	양재 나들목
전차로 진입	트럼펫	오산, 안성 나들목

재난 시의 평균지체(대/시)를 비교하여 평상시와 재난 시의 평균지체의 차이가 크게 발생하는 시점을 교차로 대안 운영시점으로 판단하였다.

5.2. 진입차로 유형에 따른 최적 대안분석

최적 대안분석은 선정된 시나리오의 평상시, 재난/재해 시, 인접교차로의 대안 설정 시 지체를 비교하여 최적대안을 선정하였다. 대안은 3가지 방안을 비교하는 것으로 대안 1은 하부도로 진입차로를 우회전 전용차로로 적용하는 것이고, 대안 2는 하부도로 진입 교차로의 녹색 신호시간을 증가하는 것이고, 대안 3은 교차로의 현시 순서를 변경하는 것이다.

6. 분석결과

6.1. 교차로 운영시점 분석결과

재난/재해에 따른 인접교차로 운영시점을 우측차로 진입형태와 교통량에 따라 평상시와 재난 시의 교통지체를 비교하였다. 첫째, 우측차로 진입형태의 4개 나들목을 분석한 결과는 표 5와 같다.

표 5. 우측차로 진입형태에 따른 평균지체

형태	나들목	교통량 (대/시/차로)	400	450	500	550	600	650	700
			다이아몬드	평상시	31.3	32.5	33.9	35.8	36.1
	재난시	39.2	42.2	50.9	101.9	155.8	202.6	233.4	
부천	평상시	40.5	42.4	44.6	46.9	49.1	50.1	51.8	
	재난시	42.5	43.4	48.1	70.8	182.8	242.4	268.1	
클로버	평상시	66.2	67.5	69.2	72.5	76.9	80.1	82.4	
	재난시	68.5	75.2	80.1	141.2	178.5	184.9	186.0	
트럼펫	평상시	57.2	62.5	68.3	75.9	81.9	83.2	89.7	
	재난시	59.5	68.2	92.1	162.5	183.4	196.2	226.2	

다이아몬드 형태인 도하 나들목과 부천 나들목은 각각 교통량이 550대/시/차로, 600대/시/차로에서 평상시와 비교할 때 재난 시 교통 지체시간의 차이가 급속히 증가하였으며, 클로버 형태인 양재 나들목과 트럼펫형인 서하남 나들목 모두 교통량이 550대/시/차로에서 평상시와 재난 시 교통 지체시간의 차이가 급속히 증가하는 것으로 분석되었다.

이를 종합하여 보면, 재난/재해로 인한 우회차량들이 하부도로에 우측차로로 진입할 경우 전반적으로 하부도

로 교통량과 고속도로 교통량의 합이 500대/시/차로 ~600대/시/차로의 수준에서 평상시와 재난 시 교통 지체시간의 차이를 보이고 있다.

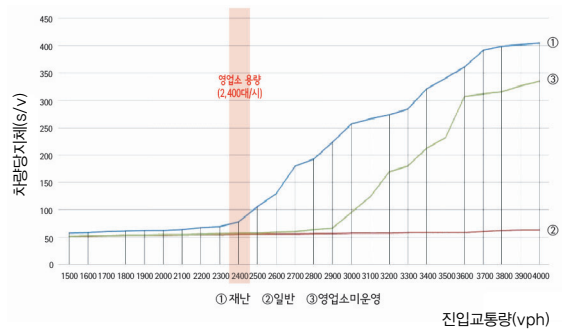


그림 7. 전차로 진입형태에 따른 평균지체(오산)

둘째, 전차로로 진입하는 유형의 분석결과 오산 나들목에서는 그림 7과 같이 교통량이 2,400대/시에서 평상시와 재난 시 교통 지체시간의 차이가 급속히 증가하는 것으로 분석되었다. 영업소를 운영하지 않을 때에는 3,000대/시에서 재난 시와 평상시 교통 지체 시간의 차이가 급속히 증가하는 것으로 나타났다.

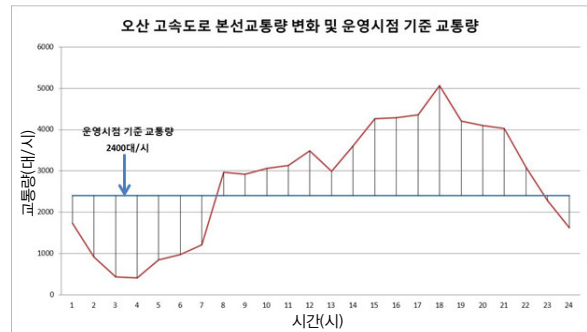


그림 8. 전차로 진입 시 교차로 운영시점 분석(오산)

오산 나들목의 경우 고속도로 본선 교통량을 대안 운영시점 기준인 2,400대/시를 기준으로 시간대별로 환산하여 분석한 결과 오전 07시부터 오후 23시까지 고속도로 본선교통량은 운영시점 기준인 2,400대/시 이상으로 교차로 대안운영시점으로 분석되었으나, 그 외의 시간대는 재난/재해가 발생하더라도 신속한 홍보 및 안내가 이루어진다면 교통량이 적어 인접교차로에 미치는 영향이 적은 것으로 분석되었다.

안성 나들목에서는 그림 9와 같이 교통량이 2,640대/시에서 평상시와 재난 시 교통 지체시간의 차이가 급속히 증가하는 것으로 나타났으며, 영업소를 운영하지 않는다면, 3,000대/시에서 재난 시와 평상시의 교통 지체시간의 차이가 급속히 증가하는 것으로 분석되었다.

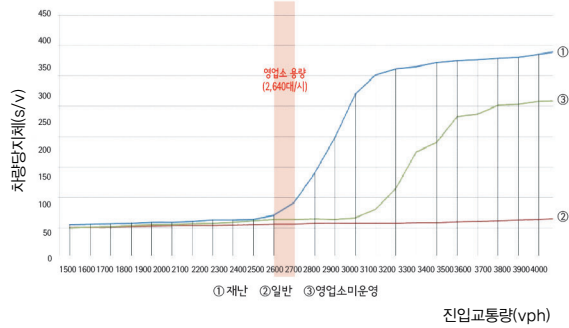


그림 9. 전차로 진입형태에 따른 평균지체(안성)

안성 나들목의 경우 그림 10과 같이 고속도로 본선 교통량을 대안 운영시점 기준인 2,640대/시를 기준으로 시간대별로 환산하여 분석한 결과 오전 07시부터 오후 21시까지 고속도로 본선교통량이 대안 운영시점 기준인 2,640대/시 이상으로 교차로 대안 운영시점으로 분석되었다.

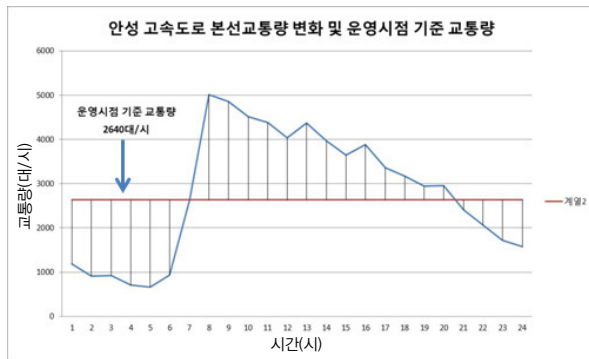


그림 10. 전차로 진입 시 교차로 운영시점 분석(안성)

전차로로 진입하는 시나리오 유형의 결과를 종합하여 보면 영업소 용량 이상으로 고속도로 교통량이 진입하게 되면 고속도로 지체가 증가하는 것으로 나타나 영업소 용량이 재난/재해 시 교차로 대안운영 시점에 영향을 주는 것으로 분석되었다. 또한 영업소 운영에 비해 영업소를 운영하지 않을 때에 더 많은 차량을 통과시킬 수 있는 이유는 모든 영업소들이 하이패스 용량으로 운영될 수 있기 때문인 것으로 보인다. 하지만 하부도로에서 받아들일 수 있는 용량에 한계가 있어 하부 도로의 용량이 영업소를 운영하지 않을 때의 교차로 운영시점 경계로 분석되었다.

6.2. 진입차로 유형에 따른 최적대안 분석 결과

재난/재해로 인한 교차로 운영변경 시 각 유형별 최적대안을 도출하기 위하여 각 대안별로 발생하는 교통 지체시간을 비교하였다.

우측차로로 진입 시 인접교차로의 유형이 사지 교차로인 경우를 분석한 결과 표 6과 같이 영업소 유무 및 나들목 유형에 상관없이 모두 하부도로로 진입차량을 우회전 전용차로의 형태로 처리하는 대안 1의 교통 지체시간이 가장 낮은 것으로 나타나 운영효과가 가장 높은 것으로 분석 되었다. 이는 우측차로로 진입하는 고속도로 우회차량을 기존 하부도로를 진입하는 차량들과 마찰을 최소화할 수 있는 방안으로 재난/재해로 인한 긴급 상황 시 가장 유효한 대안으로 나타났다.

표 6. 우측차로 진입 - 사지 교차로 분석결과

구 분		양재	서초	도화	부평	곤지암
		영업소 무				
첨두시 (07:00 ~09:00)	평상시	207.5	205.2	147.1	105.5	80.2
	재난상황	436.1	442.8	561.5	441.0	2242
	대안1	306.8	310.5	361.7	295.8	139.3
	대안2	309.2	312.1	378.2	332.5	163.8
주간평균 (10:00 ~18:00)	대안3	388.2	379.9	381.8	384.6	152.7
	평상시	99.5	102.1	77.5	58.2	41.9
	재난상황	237.9	250.0	474.2	311.1	208.1
	대안1	104.1	109.5	155.8	210.5	124.6
야간평균 (22:00 ~24:00)	대안2	129.4	145.8	166.2	254.5	138.8
	대안3	149.5	181.5	168.8	221.1	129.5
	평상시	68.2	73.8	30.9	35.2	32.4
	재난상황	184.0	154.0	38.4	170.5	182.3
	대안1	80.6	95.8	33.2	89.5	109.5
	대안2	125.1	131.6	34.7	101.4	125.9
	대안3	179.3	165.9	35.7	111.3	133.6

표 7. 우측차로 진입 - 삼지 교차로 분석결과

구 분		부천 (영업소 무)	동수원 (영업소 유)
		평상시	
첨두시 (07:00 ~09:00)	재난상황	261.0	267.7
	대안1	221.6	232.5
	대안2	166.5	188.5
	대안3	233.1	208.2
주간평균 (10:00 ~18:00)	평상시	57.0	45.7
	재난상황	186.1	177.8
	대안1	153.3	168.9
	대안2	125.8	142.5
야간평균 (22:00 ~24:00)	대안3	165.1	158.1
	평상시	30.4	32.5
	재난상황	34.1	48.2
	대안1	33.1	47.5
	대안2	32.9	44.2
	대안3	34.6	45.1

우측차로로 진입 시 인접교차로의 유형이 삼지 교차로인 경우를 분석한 결과는 앞서 분석한 사지 교차로와는 다르게 영업소 유무에 상관없이, 모든 나들목 유형에서 하부도로 교차로의 녹색시간을 증가시키는 대안 2가 가장 지체를 줄일 수 있는 방안으로 분석 되었다. 이는 사지 교차로와 다르게 우회차량과의 마찰을 줄일 수 없기 때문에 대안 1보다 대안 2가 가장 적합한 것으로 나타났다.

표 8. 전차로 진입 분석결과

구 분		오산 (사지 교차로)	안성 (삼지 교차로)
첨두시 (07:00 ~09:00)	평상시	30.3	63.2
	재난상황	235.0	245.1
	대안1	186.2	186.6
	대안2	161.6	206.1
주간평균 (10:00 ~18:00)	평상시	27.0	59.2
	재난상황	146.1	195.9
	대안1	125.6	130.7
	대안2	113.3	165.6
야간평균 (22:00 ~24:00)	평상시	20.4	48.1
	재난상황	32.1	53.8
	대안1	26.1	50.9
	대안2	25.9	51.5
	대안3	22.6	52.2

전차로로 진입하는 경우를 분석한 결과 표 8과 같이 인접교차로의 유형이 사지 교차로인 경우에 모두 대안 3이 가장 지체를 줄일 수 있는 대안으로 분석되었으며, 삼지 교차로인 경우에는 대안 1이 가장 운영효과는 높은 것으로 나타났다.

표 9. 진입차로 유형에 따른 최적대안 분석결과

위치 구분	구 분		대안1 (우측 차로 이용)	대안2 (주기 증가)	대안3 (현시방법 변경)
	영업소 유무	교차로 형태			
우측 차로 진입	유	삼지		평균 36% 지체감소	
		사지	평균 41% 지체감소		
	무	삼지		평균 31% 지체감소	
		사지	평균 54% 지체감소		
전차로 진입	유	삼지	평균 43% 지체감소		
		사지			평균 32% 지체감소

지금까지의 결과를 종합해보면 우측차로 진입의 경우 영업소 유무와 나들목 유형은 지체에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 표 9와 같이 영업소가 있는 인접 교차로가 삼지인 경우 대안 2에서 평균 36% 지체가 감소되고, 사지 교차로인 경우 대안 1이 평균 41% 지체가 감소되는 것으로 나타났다. 또한 전차로 진입의 경우도 마찬가지로 인접교차로의 형태가 대안 선택에 가장 중요한 요인으로 분석 되었다.

7. 재난/재해 시 인접교차로 운영매뉴얼 제안

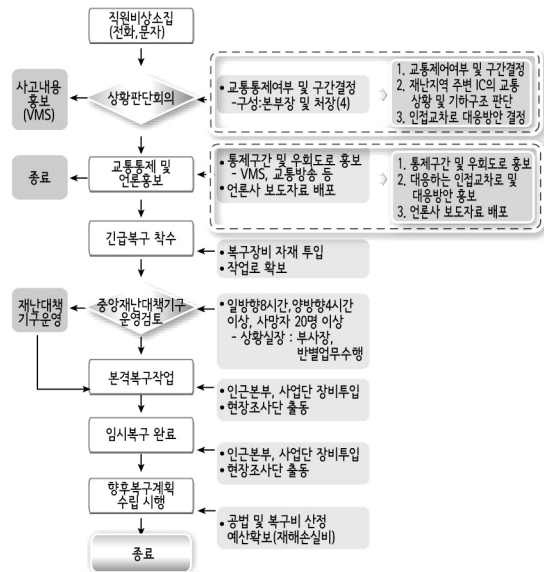


그림 11. 고속도로 방재 매뉴얼 추가부분

분석결과를 바탕으로 그림 11과 같이 고속도로 재난/재해 시 인접교차로 운영 방안을 기존의 고속도로 비상재해 대응방안 매뉴얼에 추가할 것을 제안하고자 한다. 현재 사용하고 있는 매뉴얼의 상황판단회의 단계에서 교통통제여부 및 구간 결정을 실시하고 있고, 교통통제 및 언론홍보 단계에서 운전자들에게 정보를 제공하게 된다. 이 두 단계에 인접교차로 운영 매뉴얼을 추가하여 재난상황이 발생하면서 신속한 우회관리를 통해 교통혼잡을 최대한 완화시켜야 한다. 이 단계에서 분석결과에 따른 세부적인 절차는 그림 12와 같다.

제안된 매뉴얼의 절차에 따라 인접교차로 운영방안을 구체적으로 모색하여 시행한다면, 재난/재해 발생 시 신속한 초기대응을 통해 많은 인적, 물적 피해를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.



그림 12. 고속도로 재난/재해 인접교차로 운영매뉴얼

8. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 기존의 고속도로 방재 매뉴얼을 보완하여 고속도로 재난/재해 시 인접교차로 최적운영방안을 제안하였다. 이를 위해 수도권 지역을 대상으로 IC 유형, 하부도로 진입 위치, 교통량 변수, 인접교차로 유형 변수의 조합에 따른 시나리오를 구성하여 교차로 운영시점 및 최적운영방안에 대해 미시적 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 효과를 분석하였다.

분석 결과 고속도로 재난/재해 발생 시 전차로 진입 시에는 고속도로 영업소 용량에 따라 교차로 최적 운영시점을 판단할 수 있는 것으로 분석되었고, 우측차로 진입 시에는 고속도로와 하부도로 교통량에 따른 교차로 최적 운영시점을 판단할 수 있었다. 최적 운영방안으로는 하부도로 진입 위치, 영업소 유무, 인접교차로 유형의 조합

에 의한 각각의 최적 운영방안을 제시하였다. 분석 결과에 따른 대응방안을 매뉴얼화하여 재난/재해 발생과 동시에 각 지점 특성에 맞는 인접교차로 운영방안을 적용하고, 방송매체(TV, 라디오 등), 트위터, 스마트폰, 네비게이션, VMS, 언론 등을 통해 운전자에게 홍보할 수 있는 체계를 구축한다면 긴박한 유고상황에서도 신속한 초기대응으로 운전자들의 안전 확보 및 교통정체로 인한 혼잡을 최대한 완화시킬 수 있을 것으로 판단된다.

하지만 본 연구에서는 고속도로 나들목에 가장 인접한 교차로를 대상교차로로 분석하였으나, 대상구역을 확장하여 네트워크적인 운영방안을 추가적으로 분석하여야 할 것이다. 또한 고속도로 유고발생 위치에 따른 교통량 분산 효과와 추가적인 신호운영방법의 적용에 대한 분석을 실시한다면 총체적인 고속도로 재난/재해 방재 매뉴얼 구축에 기여할 것으로 예상된다.

참고 문헌

- 건설교통부(2004) “건설교통 재해대책 편람”
- 김수희(2007) “과포화 교통축에서의 비공통주기 반 신호 운영방법론 개발”, 박사학위 논문.
- 손영태(2009) “지역특성을 고려한 교통방재시스템 구축 및 활용에 관한 연구”, 한국도로학회 논문집, Vol.11 No.1, pp.217~231.
- 양충현, 손영태, 양인철, 김현명(2009) “재난·재해 시 대피 및 우회차량 경로제공 알고리즘 개발”, 대한토목학회 논문집, Vol.27 No.4, pp.379~388.
- 임광수, 김주현, 신언교(2007) “신호최적화를 통한 도시 고속도로 진출램프 신호제어 모형개발” 대한토목학회 논문집.
- 조호희(2007) “침수 시 신호운영방안에 따른 효과분석”, 석사학위 논문.
- 한국도로공사(2008) “고속도로 대형재난사고 종합대응체계 연구” (접수일 : 2011. 10. 13 / 심사일 : 2011. 10. 22 / 심사완료일 : 2012. 3. 28)