

송도국제도시 연결도로의 유고상황 발생에 따른 신도시 내부 영향 분석

홍기만* · 김태균**

Analysis of the effect in the city due to the bridges incidents in Songdo International City

Hong, Ki-Man* · Kim, Tea-gyun

Abstract: The purpose of this study is to analysis the impact on the inside of the new city when an incidents occurs on the Songdo International City connecting road, which has a limited access. The analysis data used KTDB's O/D and network data of the Seoul metropolitan area. In addition, the scenario composition applied a method of reducing the number of lanes on the road according to the situation of incidents, targeting bridges advancing from Songdo International City to the outside in the morning peak hours. The analysis method analyzed the traffic volume, total travel time, total travel kilometer, and route change in the new city based on the results of the traffic allocation model. As a result of the analysis, the range of influence was shown to two types. First, of the seven bridges, Aam 3, Aam 2, and Aam 1 were analyzed to have an impact only in some areas of the northwestern part of the new city. On the other hand, the remaining bridges were analyzed to affect the new city as a whole. The analysis results of this study are expected to be used as basic data to establish the scope of internal road network management when similar cases occur in the future.

키 워 드: 통행배정, 경로분석, 첨두시간 O/D, 교통량, 유고상황

Key Words: assignment, path analysis, peak hour O/D, traffic volume, incident

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

인천광역시 연구수에 위치한 송도국제도시(이하 신도시)는 2003년 인천경제자유구역으로 지정된 후, 현재까지 개발이 진행중에 있으며, 2030년까지 계획인구 약 265.6천 명(104.1천 세대)을 수용하는 사업이다. 이러한 신도시 내부는 각종 업무, 상업, 주거 시설은 물론 물류거점으로서의 역할 수행을 위한 기반시설 등이 위치하고 있어 여객과 화물 이동에 대한 중요성이 요구된다. 현재 신도시와 외부를 연결하는 교통인프라를 살펴보면, 8개의 도로와 1개의 도시철도 노선이 운영중에 있으며, 이 중 도로의 경우 간척지로 개발된 신도시 특성에 따라 교량으로 건설되었다.

한편, 신도시의 사회경제적 변화를 살펴보면, Table 1.과 같이 인구 및 세대수 변화의 경우, 2007년 23.6천 명(7.1천 세대)에서 2019년 160.5천 명(54.8천 세대)로 연평균 약 17.3%(18.6%) 증가하였으며, 종사자 및 사업체수의 경우, 2007년 8.6천 명(0.8천 개)에서 2019년 71.5천 명(7.7천 개)으로 연평균 약 19.3%(20.9%) 증가하였다.

Table 1. 송도국제도시 사회경제지표변화

연도	인구수 (인)	세대수 (세대)	종사자수 (인)	사업체수 (개)
2007	23,621	7,100	8,638	791
2008	27,458	8,080	9,478	898
2009	33,960	10,121	12,589	1,162
2010 ¹⁾	-	-	-	-
2011	55,178	16,479	19,805	1,895
2012	62,523	18,702	24,537	2,365
2013	71,792	21,531	32,812	3,054
2014	86,006	25,920	38,260	3,908
2015	99,427	30,689	48,929	4,691
2016	112,816	35,816	53,081	5,559
2017	123,832	39,840	59,603	6,425
2018	139,580	45,995	67,701	7,029
2019	160,455	54,829	71,516	7,691
연평균증감률	17.31%	18.57%	19.26%	20.87%

1) 2010년 통계는 2009년과 동일한 값을 제공하고 있음

자료 : 인천광역시연구수구분통계(인천광역시 연구수구형, 2008~2020)

사회경제지표의 증가는 행정구역에도 변화를 가져왔으며, 2011년까지 송도동에서 2012년 이후 송도1동과 송도2동으로 분동되었다. 또한, 2014년에는 송도1동, 송도2동, 송도3동으로, 2019년에는 송도2동이 송도2동과 송도4동으로 분동되어

* 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 박사후연구원, 교신저자(kmhong@kict.re.kr)

** Studio Galilei 이사.

현재까지 총 4개의 행정동 체계를 유지하고 있다. 이러한 변화는 신도시 관련 통행량이 증가하고 있다는 것을 의미하며, 외부 지역과의 통행에서 제한적인 경로를 이용할 수밖에 없는 신도시의 특성을 고려하였을 때, 주요 이용 도로에서 불규칙적인 이벤트 또는 사고 발생은 신도시 내부에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 거시분석모형을 이용하여 신도시와 외부지역을 연결하는 도로의 유고상황 발생에 따른 분석을 수행하고자 하며, 본 연구의 결과는 향후 유사상황 발생시 영향 범위, 도로 및 교통운영관리의 범위를 파악하고 관련 정보제공을 위한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 신도시로 제한하되, 외부 지역과의 통행 및 경로 변화 등을 고려하여 수도권 기반의 전국을 대상으로 분석하였다. 분석의 시간적 범위는 분석의 기초자료와 관측치 자료 활용이 가능한 시점인 2020년으로 설정하였으며, 세부적으로는 유고상황 발생시 영향이 클 것으로 예상되는 오전 첨두시간대(07시~09시)를 대상으로 분석을 수행하였다.

2. 관련 문헌고찰

2.1 송도국제도시 교량별 진출입 교통량 분석

2020년 기준 신도시 진출입 도로는 Fig 1.과 같이 아암3교, 아암2교, 아암1교, 아트센터교, 컨벤시아교, 송도국제교, 바이오산업교, 신항만교 등 총 8개의 교량이 위치하고 있으며, 교량에 따라 왕복 4~8차로로 운영되고 있다.



Figure 2. 송도국제도시 교량 지점도

교통량의 경우, 인천광역시에서 수행한 ‘2020년 도시교통 기초조사(2021)’ 자료에 따르면, Table 2.

와 같이 각 교량별 1일 평균교통량은 약 13.5천 대/일 ~ 약 46.5천 대/일로 나타났다. 첨두시간대 교통량을 살펴보면, 오전 첨두(07시~09시) 교통량은 약 1.5천 대/일 ~ 약 7.6천 대/일로 집계되었으며, 오후 첨두(18시~20시) 교통량은 약 0.7천 대/일 ~ 5.6천 대/일로 나타났다. 교량별로 살펴보면, 송도국제교의 교통량이 가장 많은 것으로 나타났으며, 신항만교의 교통량이 가장 적은 것으로 나타났다.

또한, 첨두시간대 비율을 살펴보면, 신항만교를 제외한 7개 교량에서 오전, 오후 모두 12% 이상으로 나타났다. 신항만교의 첨두시간 교통량 비율이 타 교량에 비해 낮게 나타난 원인으로는 신항만교와 연결되는 신도시 내부 지역이 현재 개발중에 있어 주거 및 상업, 업무 지역과 공간적으로 떨어져 있으며, 신도시 내부 도로망과의 연결성이 미흡하기 때문인 것으로 파악되었다.

Table 2. 2020년 송도국제도시 교량별 교통량

교량명 ¹⁾	전일 교통량 (대)	오전 첨두 ²⁾		오후 첨두 ²⁾	
		교통량 (대)	비율 (%)	교통량 (대)	비율 (%)
아암3교	18,642	3,580	19.20	2,850	15.29
아암2교	16,582	3,697	22.30	2,157	13.01
아암1교	15,230	1,932	12.69	2,194	14.41
아트센터교	42,247	6,597	15.62	5,205	12.32
컨벤시아교	41,792	6,749	16.15	5,455	13.05
송도국제교	46,489	7,581	16.31	5,608	12.06
바이오산업교	20,680	3,922	18.97	3,348	16.19
신항만교	13,478	1,528	11.34	718	5.33
합계	215,140	35,586	16.54	27,535	12.80

1) 아트센터교, 컨벤시아교, 송도국제교, 바이오산업교, 신항만교의 경우, 인근 교차로 교통량조사를 수행함에 따라 해당 교량의 진입/진출 방향별 교통량을 집계한 결과임

2) 오전 첨두는 07시~09시, 오후 첨두는 18시~20시 교통량을 집계한 결과임

자료 : 2020 도시교통기초조사(인천광역시, 2021)

2.2 기존 연구 검토

Kim et al.(2012)은 개별 행태 기반의 교통 시뮬레이션 분석을 통해 유고상황 발생시 개인의 행태 변화를 분석하였다. 분석은 서울시 강남구 지역을 대상으로 영동대로, 테헤란로 등의 도로 통제 및 차량 2부제 상황을 유고상황 이벤트로 설정하였으며, 상황에 따른 24시간 통행분포, 교통량 변화, 구간 속도 변화 등을 지표로 선정하였다. 분석 결과를 통해 시뮬레이션 프로그램인 MatSIM의 활용가능성을 제시하였다.

Kang et al.(2012)은 고속도로 구간을 대상으로 비상재해 발생시 인접교차로의 운영 및 대응 방안 에 대한 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 분석 결과, 하부도로의 진입위치, 영업소 유무, 인접교차로 유형의 조합을 고려한 최적 운영 방안을 제시하였다.

Son(2009)은 대피 및 방재경로 지정과 교통운영 방안 수립 연구에서 재난영향권 설정 범위를 정의하고 청주시를 사례로 대피경로 및 신호운영방안을 제시하였다. 평균통행속도 및 총지체를 지표로 도로차단 및 신호운영 방법에 따른 대안별 시물레이션 분석 결과, 신호현시 최적화를 통한 효과가 발생한 것으로 나타났다.

Lee et al.(2006)은 지역차원에서의 교통사고개선을 위해 GIS기반의 사고지점 데이터를 활용하여 지역적 차원의 영향권을 파악하였다. 분석 방법은 Density Grid Analysis를 이용하여 사고건당 심각도를 나타내는 SI의 연도별 비교를 통해 영향권 파악하였다.

Kim(2002)은 돌발상황에 따른 교통영향 산정 연구에서 미시적 시물레이션을 활용하여 돌발상황 지속간, 상류교통수요, 차로 폐쇄율 등을 변수로 모형식을 구축하였다. 구축된 회귀분석 모형과 거시모형을 적용한 교통영향 산정모형인 누적곡선분석, 충격과분석을 시물레이션 결과와 비교한 결과, 회귀분석모형이 시물레이션 결과와 유사하다는 결론을 도출하였다.

기존 연구 검토 결과, 돌발상황 또는 유고상황 발생에 따른 교통 영향 분석은 대부분 시물레이션 분석을 통해 수행된 것으로 나타났다. 이러한 원인으로서는 Kim(2002)의 연구에서 제시된 바와 같이 거시모형의 경우, 불안정한 상태의 교통류 상황에서 발생하는 이력현상과 혼잡에 따른 차량군의 상호작용을 반영하지 못하기 때문인 것으로 파악되었다. 또한, 미시적인 교통류 흐름의 변화를 파악하여 적합한 신호운영체계를 구축하기 위해 요구되는 변수 및 지표(신호현시, 지체도, 대기행렬 등)를 거시모형에서 적용하지 못한다는 한계가 있기 때문인 것으로 나타났다.

그러나 본 연구는 기존 연구와 같이 교통 흐름 변화에 따른 교차로의 적정 신호운영 방안에 대한 연구가 아닌 유고상황 발생시 신도시 관련 통행에 미치는 영향 정도 및 경로 선택에 미치는 영향을 파악하는데 목적이 있다. 또한 이를 통해 운영관리 및 정보 제공 범위를 검토하기 위한 실증 분석을 수행하고자 한다. 따라서 연구의 목적 및 공간적 범위를 고려하였을 때, 미시 시물레이션이 아닌 거시모형을 적용이 적합한 것으로 판단된다.

3. 분석 방법론 설정

3.1 분석 기본자료 검토

분석을 위한 기본자료는 공간적 범위 및 통행배정 모형 적용을 고려하여 국가교통DB(이하 KTDB)에서 제공하는 수도권 자료를 이용하였다. 우선 수

도권 배포자료의 존재계를 살펴보면, 수도권 지역은 읍·면·동 단위로, 그 외 지역은 시·군·구 단위의 존재계로 구축되어 있다. 그러나 본 연구 분석 대상인 신도시의 경우, 송도1동, 송도2동, 송도3동의 3개 소존체계로 구축되어 있어 분석 기준년도인 2020년에 적합한 존재계 구축이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 사회경제지표자료를 이용하여 Fig 2.과 같이 송도2동을 송도2동과 송도4동으로 존재분화를 수행하였다.

또한, 수도권 여객 통행량(O/D)자료를 살펴보면, 승용차, 택시, 노선버스, 전철/지하철, 버스+전철/지하철, 기타버스, 화물기타 등의 7개의 주수단 O/D를 제공하고 있으며, 여기서 기타버스는 비노선버스를, 화물기타는 출퇴근 목적으로 화물차량을 이용하는 통행량으로 검토되었다. 네트워크 자료의 경우에는 도로 및 철도 네트워크와 더불어 운행횟수가 반영된 대중교통 노선데이터를 같이 제공하고 있어 본 연구에서는 이를 활용하였다.

화물 통행량의 경우, 수도권 배포자료 설명자료에 따르면 KTDB의 전국권 자료를 이용하도록 제시하고 있으며, 전국 화물통행량 자료는 250개의 중존 체계로 구축되어 있어, 종사자수 자료를 이용하여 수도권 존재계에 맞는 세분화 O/D를 구축하였다.

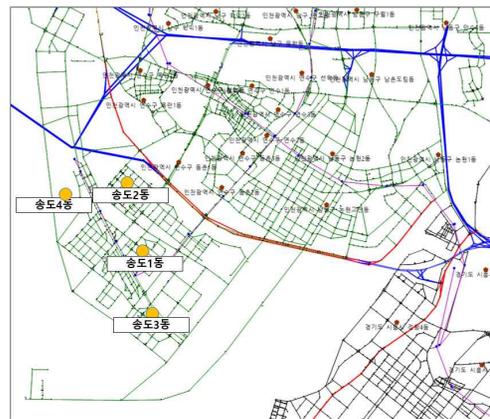


Figure 3. 송도2동 존재분화 결과

3.2 분석 방법론 설정

본 연구의 분석은 앞서 언급한 바와 같이 2020년을 기준년도로 오전 첨두시간대를 대상으로 수행한다. 따라서 네트워크 현행화는 오전 첨두 교통량 자료를 이용하여 정산하며, 이를 기본 시나리오로 설정하였다. 대안별 시나리오는 각 교량별로 1개 차로에서 유고상황이 발생한다는 전제하에 도로의 1개 차로(200m)를 폐쇄하는 방법을 적용하며, 신도시 내부 지역에서 외부 지역으로 진출하는 방

향을 대상으로 적용하였다. 시나리오 구성은 Table 3.과 같다.

Table 3. 시나리오 구성

구분	내용	비고
기본 시나리오	기준년도 현행화 네트워크	-
시나리오 1	아얌3교 용량 감소	각 교량별로 신도시에서 외부 진출 방향 1개 차로 감소(200m)
시나리오 2	아얌2교 용량 감소	
시나리오 3	아얌1교 용량 감소	
시나리오 4	아트센터교 용량 감소	
시나리오 5	컨벤시아교 용량 감소	
시나리오 6	송도국제교 용량 감소	
시나리오 7	바이오산업교 용량 감소	

주 : 신항만교의 경우, 현재 도로의 연결성이 미흡함에 따라 시나리오 분석에서 제외함

시나리오별 분석에 적용되는 여객O/D 자료는 본 연구의 목적에 맞춰 앞에서 제시된 7개 주수단 O/D 중 전철/지하철 관련 O/D를 제외한 승용차, 택시, 기타버스, 화물기타의 4개 수단과 화물O/D를 이용하여 통행배정을 수행하고자 한다. 노선버스 O/D의 경우, 일반적인 사용자균형배정 방법을 통해 적용할 수 있으나, 노선버스는 도로상에 사고가 발생하더라도 정해진 경로로 운행하는 특성이 있다.

따라서 본 연구에서는 노선버스 O/D자료를 적용하는 대신 구축된 대중교통 노선데이터에서 제공되는 운행횟수를 반영하였다.

4. 분석 결과

4.1 신도시 통행 발생 분포 분석

KTDB 수도권 자료의 신도시 통행발생 분포를 살펴보면, 총 348.0천 통행/일로 이 중 내부통행(신도시 내 통행)은 159.0천 통행/일(45.7%)로 나타났다. 신도시와 인천시 타 지역 통행에서는 인천시 남동구 통행이 약 56.5천 통행/일로 가장 많은 것으로 나타났으며, 이어 인천시 미추홀구, 부평구, 중구, 서구, 동구, 계양구, 강화군, 옹진군 순으로 나타났다.

인천시를 제외한 외부 지역과의 통행은 경기도의 경우, 부천시, 김포시, 시흥시, 안산시 단원구, 고양시 일산동구 등과의 통행이 높은 비율을 차지하고 있었으며, 서울과의 통행은 강남구, 서초구, 마포구, 중구, 강서구, 동작구, 노원구, 용산구, 영등포구, 금천구, 관악구 등과의 통행이 일일 1.0천 통행/일 이상으로 나타났다.

수도권을 제외한 통행에서는 충청남도, 충청북도, 대전시, 강원도 등에서 0.1천 통행/일 이상으로 나타났으며, Table 4.는 신도시에서 발생하는 통행량을 중순단위로 집계한 결과이다.

Table 4. 신도시 통행 분포(통행발생 기준)

도착지	통행량 (trip/day)	비율 (%)	누적비율 (%)
인천광역시 연수구	159,043.8	45.7	45.7
인천광역시 남동구	56,477.3	16.2	61.9
인천광역시 미추홀구	23,807.3	6.8	68.8
인천광역시 부평구	11,703.3	3.4	72.1
인천광역시 중구	10,767.7	3.1	75.2
인천광역시 서구	8,601.3	2.5	77.7
경기도 부천시	6,520.7	1.9	79.6
경기도 김포시	5,882.1	1.7	81.3
경기도 시흥시	5,649.4	1.6	82.9
경기도 안산시 단원구	4,758.5	1.4	84.3
경기도 고양시 일산동구	4,565.2	1.3	85.6
인천광역시 동구	4,543.4	1.3	86.9
인천광역시 계양구	4,480.8	1.3	88.2
서울특별시 강남구	4,291.7	1.2	89.4
서울특별시 서초구	3,282.7	0.9	90.3
서울특별시 마포구	2,704.9	0.8	91.1
경기도 화성시	1,796.3	0.5	91.6
서울특별시 중구	1,746.3	0.5	92.1
서울특별시 강서구	1,484.8	0.4	92.6
서울특별시 동작구	1,449.4	0.4	93.0
.....			
합계	347,994.2	100.0	100.0

주 : 수도권 배포자료의 여객통행(승용차, 택시, 버스, 전철/지하철, 버스+전철지하철, 기타버스, 화물기타)을 집계하였음

4.2 네트워크 현행화

4.2.1 통행배정 전제

도로통행배정에서 사용되는 재차인원과 승용차환산계수(Passenger Car Equivalent: PCE)는 교통 분석에 사용되는 기초자료와 일치하는 원단위를 적용하고 있다. 따라서 본 연구의 재차인원 및 PCE계수는 “2019년 수도권 교통분석 기초자료-O/D 및 Network 자료 설명서” (한국교통연구원, 2020, 이하 설명자료)에 제시된 원단위를 적용하였다.

통행배정의 기본시간 단위는 전일 O/D를 이용하는 방법과 침두 및 비침두 O/D를 적용하는 방법이 있으며, 본 연구에서는 침두시간대의 분석을 수행함에 따라 침두 O/D를 이용한 통행배정을 수행하였다. 여기서, 침두 O/D는 Table 5.와 같이 예비타당성조사지침에서 제시된 수도권 지역의 침두 집중률을 적용하였다.

또한 버스와 화물차의 통행배정에 있어 버스는 앞서 제시한바와 같이 대중교통 노선데이터를 이용한 노선배정을 수행하였으며, 화물차는 다차종(Multi-class) 통행배정방식을 적용하였다.

Table 5. 수도권 지역의 1시간 통행량의 지속시간과 각 시간대별 집중률

구분	지속시간	집중률
첨두시간	4	8.78%
비첨두시간	16	3.84%
심야시간	4	-

자료 : 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)

4.2.2 도로 네트워크 정산 결과

도로 통행배정모형 정산은 BPR함수(Bureau of Public Road Function)를 구성하는 용량, 자유속도, Alpha, Beta 중 용량과 자유속도를 이용하여 수행하였으며, 파라미터 조정범위는 설명자료에 제시된 상한값과 하한값을 준용하였다.

모형의 정산은 본 연구의 분석 목적에 맞춰 조사된 8개 교량의 교통량 자료를 관측치로 적용하였으며, 오차율 허용 범위는 ±15%로 설정하였다. 여기서 오차율 산정은 아래의 식과 같이 표현된다.

$$\text{오차율 } \varepsilon(\%) = 100 \times \frac{f_l^{est} - f_l^{obs}}{f_l^{obs}}$$

단, f_l^{est} = 모형분석 결과에 의한 링크의 추정교통량
 f_l^{obs} = 링크의 관측교통량

통행배정모형은 출발지기반(Origin-Based) 통행배정 기법을 적용하였으며, Kim et al.(2015)의 연구 결과를 참고하여 Relative-gap 1.0E-10을 수렴 조건으로 설정하였다.

8개 교량에 대한 네트워크 정산 결과, ±15% 이내로 상관계수는 예비타당성조사지침에서 제시된 0.8을 초과한 약 0.999로 나타났으며, 정산 지점도 및 지점별 모형 정산 결과는 Fig 3. 및 Table 6.과 같다.



Figure 4. 교통량 정산 지점도

Table 6. 네트워크 정산 결과

일련 번호	지점명	교통량(대/2시간)		오차 (B-A)	오차율 ((B-A)/A)
		관측 (A)	배정 (B)		
1	아암3교	3,580	3,838	258	7.20
2	아암2교	3,697	3,918	221	5.99
3	아암1교	1,932	2,138	206	10.67
4	아트센터교	6,597	6,967	370	5.61
5	컨벤시아교	6,749	7,096	347	5.14
6	송도국제교	7,581	7,967	386	5.10
7	바이오산업교	3,922	3,970	48	1.23
8	신항만교	1,528	1,753	225	14.71
합계		35,586	37,648	2,062	5.79
r-squared 0.999					

4.3 유고상황에 따른 영향 분석 결과

4.3.1 교통량 변화 분석

각 시나리오 분석에 따른 신도시 연결 교량의 교통량 변화를 살펴보면, Table 7. 및 Fig 4.와 같이 시나리오1에서 아암3교 교통량 감소가 약 0.3% 감소되었으며, 감소된 교통량은 아암2교 및 아암1교를 이용하는 것으로 나타났다.

시나리오2의 경우, 아암2교의 교통량은 약 1.0%이상 감소하는 것으로 나타났으며, 감소된 교통량은 주로 아암3교와 아암1교로 전환되는 것으로 나타났다.

시나리오3에서는 아암1교의 교통량이 약 0.6% 교통량이 감소되었으며, 아트센터교와 컨벤시아교 하부 도로로 교통량이 전환된 것으로 분석되었다.

시나리오4에서는 아트센터교의 교통량 감소율이 약 2.6% 이상으로 나타났으며, 감소된 교통량은 아암1교, 컨벤시아교, 컨벤시아 하부도로를 이용하는 것으로 나타났다.

시나리오5에서는 컨벤시아교의 교통량 감소율이 약 2.3%이상으로 감소된 교통량은 컨벤시아교 하부도로, 아트센터교, 송도국제교 외에도 아암1교, 바이오산업교 등으로 전환되었다.

시나리오6에서는 송도국제교의 교통량 감소율이 약 3.7% 이상으로 나타났으며, 감소된 교통량은 아암1교, 아트센터교, 컨벤시아교, 컨벤시아교 하부 도로, 송도국제교 하부 도로, 바이오산업교, 신항만교 등 신도시를 연결하는 대부분의 도로로 전환되는 것으로 나타났다.

시나리오7에서는 바이오산업교 교통량 감소율이 약 1.1%이상으로 나타났으며, 신항만교, 송도국제교, 컨벤시아교, 아트센터교 등으로 전환되었다.

Table 7. 시나리오별 신도시 교량 교통량 변화

구분	일련 번호	교량명	현황 정산 결과(A)	시나리오(B)						
				1(아암3교)	2(아암2교)	3(아암1교)	4(아트센터 교)	5(컨벤시아 교)	6(송도국제 교)	7(바이오산 업교)
교통 량 (대/2 시간)	1	아암3교	3,838	3,828	3,866	3,837	3,838	3,838	3,839	3,838
	2	아암2교	3,918	3,926	3,879	3,918	3,920	3,919	3,920	3,919
	3	아암1교	2,138	2,140	2,146	2,125	2,193	2,145	2,147	2,139
	4	아트센터교	6,967	6,967	6,968	6,971	6,784	6,993	6,978	6,971
	5	컨벤시아교	7,096	7,096	7,096	7,097	7,116	6,928	7,121	7,100
	6	송도국제교	7,967	7,967	7,968	7,968	7,972	7,979	7,666	7,973
	7	바이오산업교	3,970	3,970	3,971	3,970	3,975	3,976	3,989	3,924
	8	신항만교	1,753	1,753	1,753	1,753	1,755	1,755	1,759	1,766
	합계		37,648	37,647	37,647	37,639	37,555	37,533	37,420	37,631
교통 량 차이 (대/2 시간) (B-A)	1	아암3교	-	-10	28	-0	-0	0	1	0
	2	아암2교	-	7	-40	0	2	1	1	1
	3	아암1교	-	2	8	-13	55	7	9	1
	4	아트센터교	-	0	0	3	-183	26	11	4
	5	컨벤시아교	-	0	0	0	20	-168	25	3
	6	송도국제교	-	0	0	0	5	12	-301	6
	7	바이오산업교	-	0	1	0	5	6	19	-46
	8	신항만교	-	0	1	0	3	2	6	13
교통 량 변화 율(%) (B-A) /A)	1	아암3교	-	-0.26	0.74	-0.01	0.00	0.01	0.04	0.01
	2	아암2교	-	0.19	-1.01	0.00	0.05	0.02	0.03	0.02
	3	아암1교	-	0.07	0.37	-0.62	2.56	0.34	0.42	0.06
	4	아트센터교	-	0.00	0.01	0.05	-2.62	0.38	0.15	0.05
	5	컨벤시아교	-	0.00	0.00	0.01	0.28	-2.37	0.35	0.05
	6	송도국제교	-	0.00	0.00	0.00	0.06	0.15	-3.78	0.07
	7	바이오산업교	-	0.00	0.02	0.00	0.13	0.14	0.49	-1.15
	8	신항만교	-	0.00	0.03	0.00	0.16	0.12	0.36	0.76

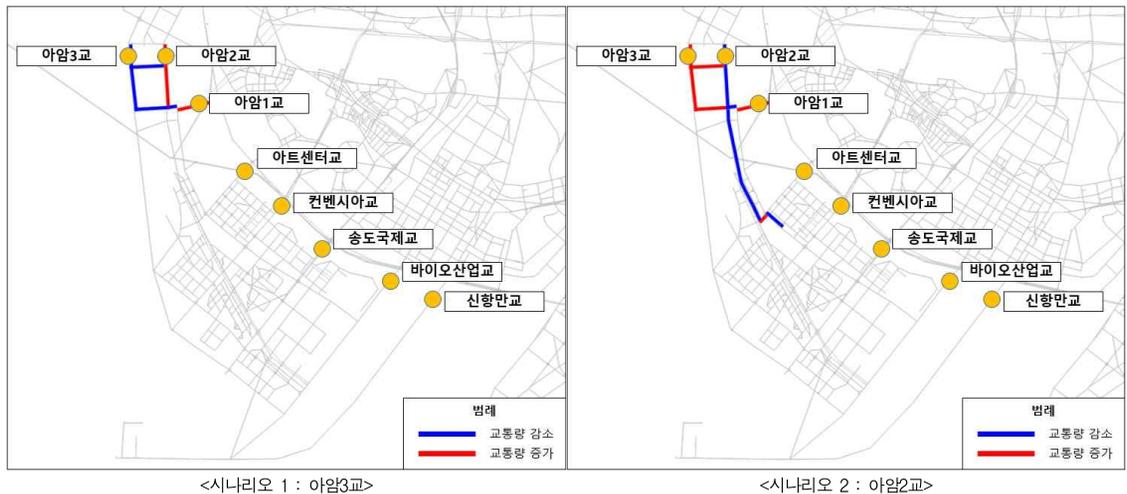


Figure 5. 시나리오별 신도시 교량 교통량 변화

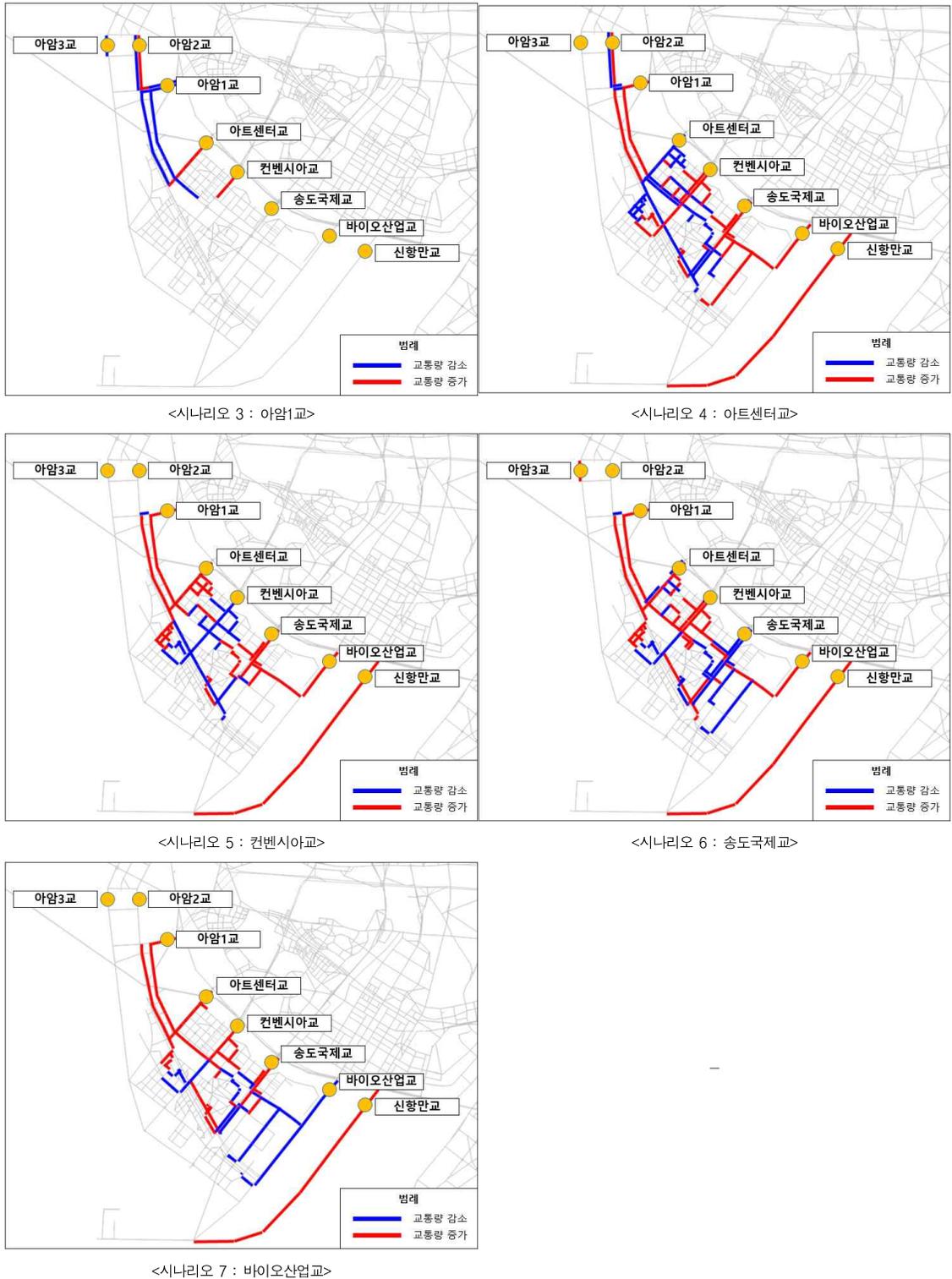


Figure 4.의 계속

신도시 내부 교통량 변화에 따른 총 통행시간과 총 통행거리의 변화를 살펴보면, 시나리오1과 시나리오3에서 총 통행시간 및 총 통행거리는 기본 시나리오에 비해 감소한 것으로 나타났다. 이러한 원인으로서는 Fig 5.와 같이 기본 시나리오에서 아암대로→아암1교→아암3교를 이용하는 교통량 중 일부가 시나리오1에서는 아암3교 혼잡 증가에 따라 아암대로(일반국도 77호선)만을 이용하는 경로로 전환된 것으로 나타났다. 또한, 시나리오3에서는 아암3교 및 아암2교→아암1교→아암대로(일반국도 77호선)를 이용하는 교통량 중 일부가 아암대로(일반국도 77호선)를 이용하는 것으로 분석되었다.



Figure 6. 시나리오1, 시나리오3의 경로 변화(예시)

시나리오7에서는 총 통행시간은 증가하였으나, 총 통행거리는 감소한 것으로 나타났다. 그 외 시나리오에서는 총 통행시간 및 총 통행거리가 증가한 것으로 분석되었으며, 각 시나리오별 총 통행시간 및 총 통행거리는 Table 8. 및 Fig 6.과 같다.

Table 8. 시나리오별 총통행거리 및 총통행시간 변화(신도시 내부)

구분	총 통행시간 (대·시)	총 통행시간 차이	총 통행거리 (대·km)	총 통행거리 차이	
기본시나리오	290,174	-	201,281	-	
시나리오	1	290,170	-4	201,268	-12
	2	290,212	38	201,293	12
	3	290,154	-21	201,260	-21
	4	290,452	278	201,296	15
	5	290,341	167	201,319	38
	6	290,709	535	201,385	104
	7	290,201	27	201,256	-25

주 : 총 통행거리 및 총 통행시간은 충도신도시 내부 도로망에 대한 결과로, 기중점 경로 간 총 통행시간 및 총 통행거리의 증감을 의미하는 것은 아님.

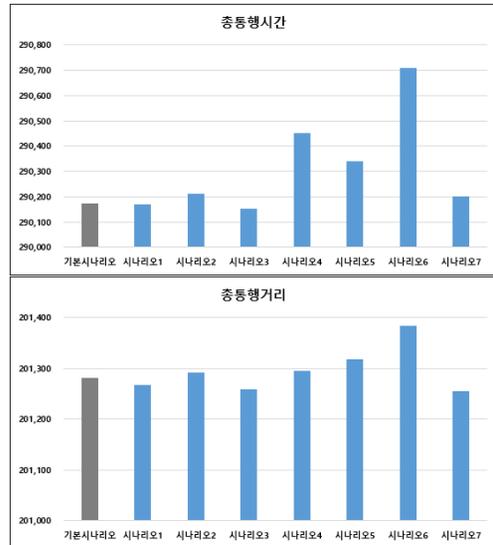


Figure 7. 시나리오별 총 통행거리 및 총 통행시간 (신도시 내부)

교통량 변화율이 2% 이상 발생하는 시나리오 4-6(아트센터교, 컨벤시아교, 충도국제교)을 대상으로 신도시 내부 도로의 V/C 변화를 살펴보면, Fig 7.과 같이 나타났다. 우선 시나리오4에서는 신송로 축 및 컨벤시아교의 V/C가 가장 큰 증가를 보이는 것으로 분석되었다. 이러한 변화는 아트센터교 용량 감소에 따른 컨벤시아교 이용 교통량의 증가 때문인 것으로 나타났다. 시나리오5 및 시나리오6의 경우에는 신도시 내부 도로망의 V/C 변화가 크게 발생하지 않는 것으로 나타났으나, 각 교량의 하부 도로망에서는 V/C가 증가하는 것으로 분석되었다.

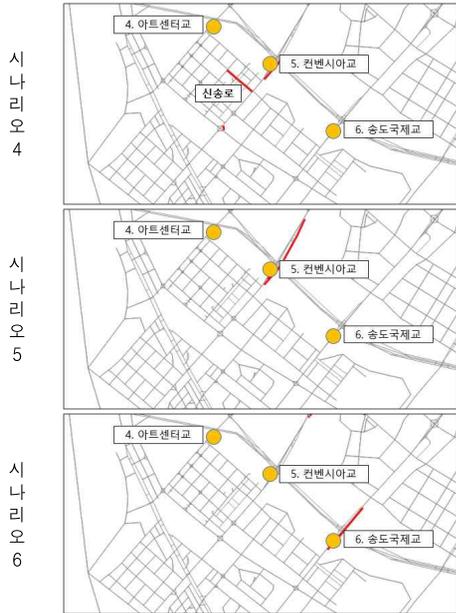


Figure 8. 신도시 내부 V/C 증가 축 분석 결과(시나리오4~7)

4.3.2 교량별 기종점 교통량 분석

기본 시나리오를 대상으로 경로 분석 중 하나인 Selected Link Analysis를 통해 각 교량의 진출 링크를 통과하는 기종점 도로교통량 분석을 수행한 결과, 아암3교의 경우, 전체 통행량 중 약 51.1%가 신도시 내 지역에서 이용하는 것으로 분석되었다. 또한, 아암2교와 아암1교의 경우에는 각각 91.3%, 94.1%가 신도시 내 지역에서 이용하는 것으로 나타났으며, 이외에 아트센터교, 컨벤시아교, 송도국제교, 바이오산업교의 경우, 각 교량 진출 링크 이용 교통량의 100%가 신도시 내 지역으로 분석되었다. 아래의 Table 9. 및 Fig 8.은 Selected Link Analysis 결과이다.

Table 9. Selected Link Analysis(기본 시나리오)
(단위 : pcu, %)

구분	신도시→ 외부 진출 방향 총교통량(A)	신도시 지역에서 진출하는 교통량(B)	비율(B/A*100)
아암3교	2,453.3	1,253.4	51.1
아암2교	2,767.0	2,525.2	91.3
아암1교	1,049.6	988.1	94.1
아트센터교	3,507.1	3,507.1	100.0
컨벤시아교	3,695.6	3,695.6	100.0
송도국제교	3,849.8	3,849.8	100.0
바이오산업교	2,471.6	2,471.6	100.0

신도시 외 지역에서 이용되는 것으로 나타나 는 아암3교, 아암2교, 아암1교에 대하여 시나리오별 진출 링크를 통과하는 기종점 도로교통량을 살펴보면, 아암3교의 경우, 시나리오1과 시나리오2에서 신도시 내 지역의 발생 비율이 약 51.4%로 기본 시나리오(51.1%)에 비해 다소 높게 나타났다. 반면 시나리오4에서는 신도시 내 지역의 발생 비율이 약 50.9%로 기본 시나리오에 비해 낮아지는 것으로 분석되었다.

아암2교는 시나리오1에서 약 90.8%로 기본 시나리오의 91.3%보다 낮은 것으로 나타났으며, 이외 시나리오에서는 신도시 내 지역에서의 발생 비율이 유사 또는 높게 나타났다.

아암3교의 경우에는 모든 시나리오에서 신도시 내 지역에서의 발생 비율이 유사 또는 높은 것으로 분석되었다.

이러한 분석 결과는 아암3교, 아암2교, 아암1교의 경우, 각 교량의 유고상황 발생시 신도시 외부 지역 교통량의 경로에도 일부 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 시나리오에 따른 각 교량별 신도시 내 지역에서의 이용 비율은 Table 10. 과 같다.

Table 10. 신도시 내 지역의 진출 링크 이용 교통량 비교(아암3교, 아암2교, 아암1교)
(단위 : pcu, %)

구분	아암 3교	아암 2교	아암 1교	
기본 시나리오	총교통량(A)	2,453	2,767	1,050
	신도시 발생 교통량(B)	1,253	2,525	988
	비율(B/A*100)	51.1	91.3	94.1
시나리오 1	총교통량(A)	2,440	2,777	1,052
	신도시 발생 교통량(B)	1,253	2,523	990
	비율(B/A*100)	51.4	90.8	94.2
시나리오 2	총교통량(A)	2,440	2,716	1,059
	신도시 발생 교통량(B)	1,253	2,482	998
	비율(B/A*100)	51.4	91.4	94.2
시나리오 3	총교통량(A)	2,455	2,768	1,036
	신도시 발생 교통량(B)	1,254	2,527	979
	비율(B/A*100)	51.1	91.3	94.5
시나리오 4	총교통량(A)	2,455	2,770	1,112
	신도시 발생 교통량(B)	1,250	2,532	1,054
	비율(B/A*100)	50.9	91.4	94.8
시나리오 5	총교통량(A)	2,454	2,768	1,057
	신도시 발생 교통량(B)	1,253	2,527	996
	비율(B/A*100)	51.1	91.3	94.2
시나리오 6	총교통량(A)	2,454	2,768	1,058
	신도시 발생 교통량(B)	1,254	2,526	996
	비율(B/A*100)	51.1	91.3	94.1
시나리오 7	총교통량(A)	2,454	2,768	1,051
	신도시 발생 교통량(B)	1,253	2,527	990
	비율(B/A*100)	51.1	91.3	94.2

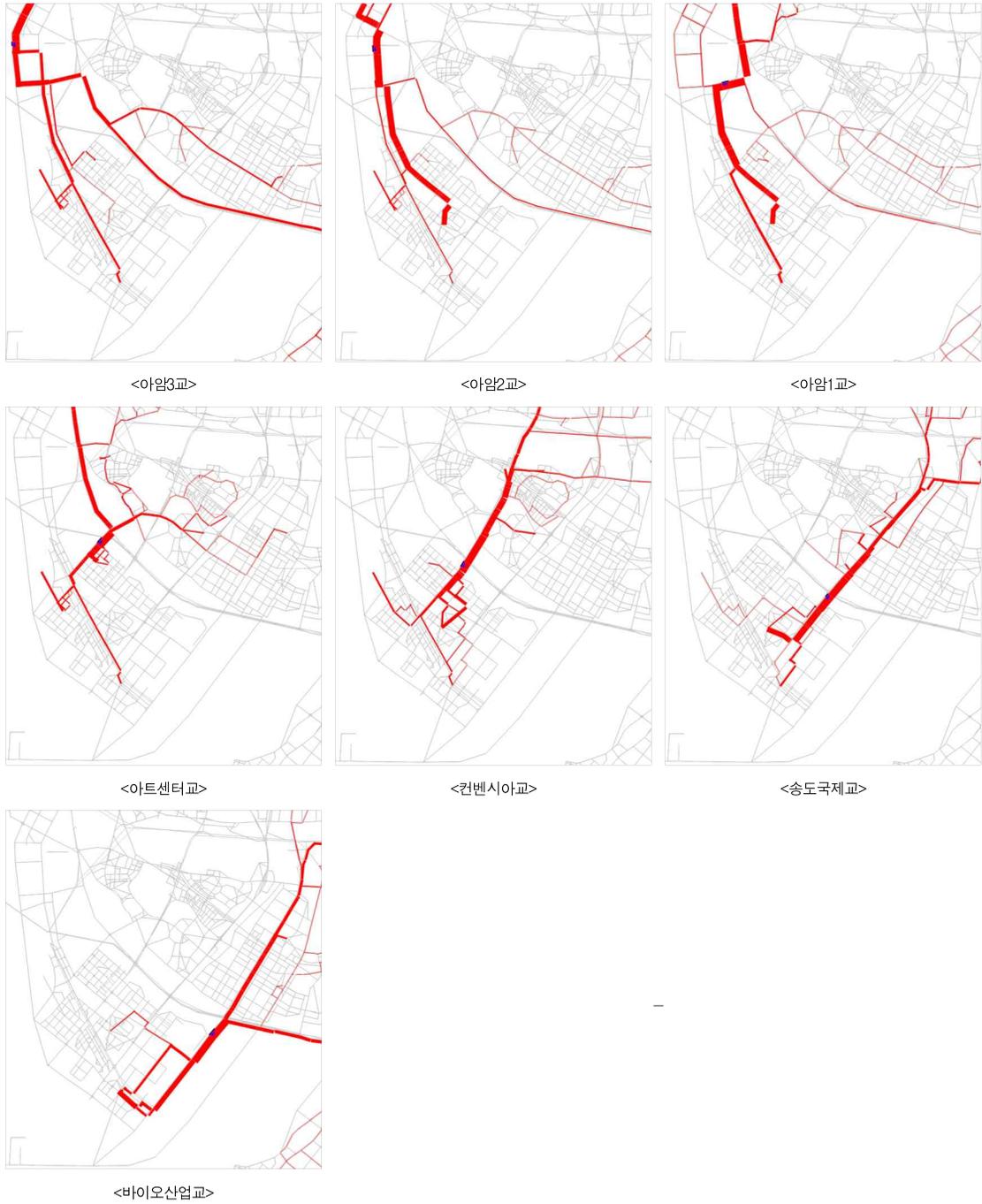


Figure 9. Selected Link Analysis(기본 시나리오)

5. 결론

본 연구는 인구 및 종사자수 등 각종 사회경제지표가 증가하고 있는 인천 송도국제도시를 대상으로 신도시에서 외부 지역 간 연결 교량에 유고상황 발생시 신도시 내부에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 방법은 거시분석모형을 이용하여 오전 첨두시간대를 기준으로 신도시에서 외부지역 진출 방향의 유고상황에 따른 각 교량별 차로수 감소(용량 감소)에 대한 통행배정을 수행하였다. 시나리오 구성은 분석 기준년도(2020년) 정산 결과를 기본 시나리오로 각 교량별(7개 교량) 용량 감소를 시나리오로 설정하였다.

분석 결과, 각 시나리오별 교량 교통량의 변화는 시나리오1(아암3교 용량 감소)에서 교통량 변화율이 약 0.3% 감소하는 것으로 분석되어 가장 낮은 변화율이 나타났다. 반면, 시나리오6(송도국제교 용량 감소)에서 교통량 변화율이 약 3.7% 이상 감소하여 가장 큰 변화율을 보이는 것으로 나타났다. 신도시 내부 도로망에 미치는 교통량 변화를 공간적으로 살펴보면, 시나리오1-3(아암3교, 아암2교, 아암1교 용량 감소)의 경우, 신도시 내 북서쪽 지역에서만 교통량 변화가 발생하는 것으로 분석되었다. 그러나 시나리오4-7(아트센터교, 컨벤시아교, 송도국제교, 바이오산업교 용량 감소)에서는 신도시 중심지역에서 교통량 변화가 발생하였다. 신도시 내부 지역의 총 통행시간과 총 통행거리 변화 분석에서는 시나리오1과 시나리오3에서 총 통행거리 및 총 통행시간이 기본 시나리오 대비 감소한 것으로 나타났으나, 이는 외부지역에서 신도시로 진입하여 다시 외부지역으로 진출하는 교통량의 경로 변화에 의한 것으로 나타났다.

경로 교통량 분석 결과에서는 아암3교의 진출 방향(신도시→외부지역) 교통량 중 약 48.9%가 외부 지역에서 이용하는 것으로 나타났으며, 아암2교, 아암1교의 경우, 외부 지역에서 이용하는 교통량이 약 5.9%~8.7%로 나타났다. 이외에 다른 교량의 경우, 진출 교통량은 모두 신도시 지역에서 발생하는 것으로 분석되었다.

이러한 교통량 변화 분석, 경로 분석 등을 살펴봐왔을 때, 유고상황시 신도시 내부에 영향을 미치는 교량들은 크게 두 가지 그룹으로 구분된다. 우선 신도시 내부 중심지를 비롯하여 전반적인 큰 영향을 미치는 그룹으로 아트센터교, 컨벤시아교, 송도국제교, 바이오산업교가 있으며, 이보다 영향력이 적은 아암3교, 아암2교, 아암1교를 또 다른 그룹으로 볼 수 있다.

따라서 본 연구의 분석 전제와 같이 신도시에서 외부 지역으로 진출하는 경우, 영향력이 큰

그룹(교량)의 유고상황 발생시 전반적인 신도시 내부 도로망의 관리가 필요한 것으로 판단된다. 반면, 상대적으로 영향력이 제한적인 그룹(교량)은 신도시 내 일부지역의 도로망 관리와 더불어 외부지역에서 진입이 가능한 도로구간까지 일부 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Incheon Metropolitan City.(2021), “2020 도시교통 기초조사”
- Incheon Metropolitan Yeonsu-Gu.(2008~2020), “Yeonsu-Gu Statistical Year Book”
- Kang, J. W., Kwon, Y. H., Lee, M. Y., Choi, J. Y., Kum, K. J. (2012), “Adjacent to the Highway Intersection, According to the Disaster, the Optimal Operating”, International Journal of Highway Engineering, Vol. 14, No. 3, pp.87-96.
- Kim, J. Y., Kim, J. Y., Park, S. J., Lee, S. J., (2015). “Analysis of Convergence Level and Exit Criteria on Traffic Assignment Algorithms.”, J. Korea inst. Intell. transp. syst., Vol. 14, No. 1, pp.31-45.
- Kim, J. Y., Yu, Y. S., Lee, S. J., Hu, H. J., Sung, J. G. (2012), “Application of Multi-Agent Transport Simulation for Urban Road Network Operation in Incident Case”, International Journal of Highway Engineering, Vol. 14, No. 4, pp.163-173.
- Kim, M. S. (2002), “A Comparative Study of Conventional Macroscopic Incident Impact Analysis Methods and Microscopic Simulation Outputs and Modification to Them”, Masters Dissertation, Kyonggi University.
- Korea Development Institute.(2008), “A Study on General Guidelines for Pre-feasibility Study(5th Edition)”
- Lee, S. S., Choi, K. C., Kim, S. O. (2006), “Establishment of the Local Traffic Accident Area in National Highway Using Density Grid Analysis”, The 32nd Conference of Korean Society of Civil Engineers, pp.3059-3062.
- Son, Y. T. (2009), “Developing Utilizing Transportation Disaster Prevention System Considering Regional Characteristics”, International Journal of Highway Engineering, Vol. 11, No. 1, pp.217-231.
- The Korea Transport Institute.(2020), “교통수요 분석 기초자료 배포 설명자료”

논문투고일 2021년 05월 31일
논문심사일 2021년 06월 21일
논문게재일 2021년 06월 30일