

# GIS를 이용한 버스노선설계 방법론

## (인천광역시 강화군 적용사례)

한종학, 김준영, 황익수

### I. 서론

#### 1. 연구의 배경 및 목적

우리나라와 같이 민간 버스운송사업 하에서 도시외곽지역의 버스운행 서비스수준(ex, 버스운행대수, 운행횟수, 배차간격 등)은 도시부와 달리 매우 열악한 실정이다. 이에 따라 해마다 해당 지자체에서는 버스차량의 증차 및 벽지노선재정지원 등으로 서비스가 열악한 지역이나 민원요구 지역을 우선 하여 버스 서비스 이용도를 개선해 나가고 있다. 이 경우 어느 지역에 버스 노선투입이 필요한지에 대한 판단을 위해서 다양한 방법론이 있을 수 있지만 가장 합리적인 방법은 지역내 생활권간 대중교통 서비스 이용도(Availability)를 개선할 수 있는 지역을 합리적으로 발굴하고, 서비스이용도개선효과가 가장 큰 지역에 우선 투입하는 것이 자원의 효율적 활용 측면에서 중요하다. 물론 기존 운행하고 있는 버스노선체계를 전면 개편하여 새롭게 지역내 버스노선체계를 설계할 수 있으나, 이 경우 막대한 예산과 복잡한 행정절차 등이 소요되고, 지역주민, 운영업체 등 버스노선 이해당사자간 이해관계로 인해 쉽게 최적노선조합을 도출하기가 쉽지 않다.

이 연구에서는 현 노선체계 하에서 대중교통 서비스 이용도가 부족한 지역을 어떻게 발굴할 것이며, 어떤 지역을 경유하는 신규노선을 투입할 수

한종학 : 인천발전연구원 도시교통연구실, jhhan71@idi.re.kr, 직장전화:032-260-2655, 직장팩스:032-260-2659

김준영 : 인천발전연구원 도시교통연구실, june0802@idi.re.kr, 직장전화:032-260-2755, 직장팩스:032-260-2659

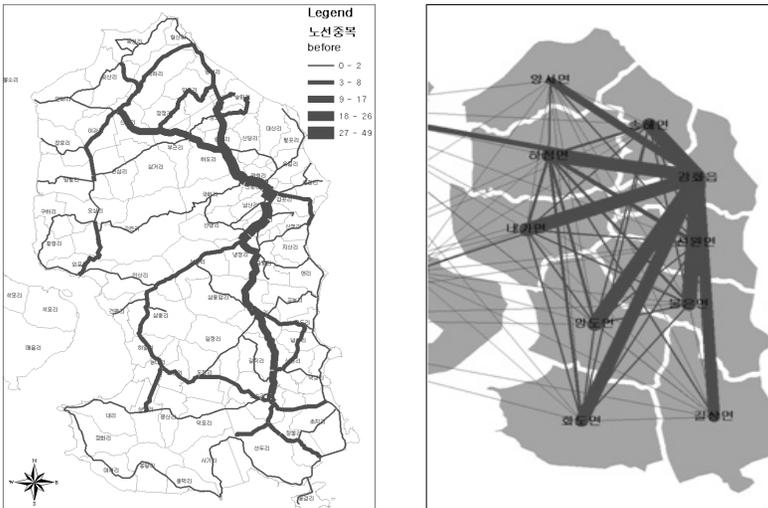
황익수 : 서울대학교 환경대학원 교통관리전공, hearttalker@naver.com, 직장전화:02-880-5646, 직장팩스:02-871-8847

본 연구는 강화군 버스노선체계개편연구의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

있는지에 대한 방법론을 제시하는데 목적이 있다.

## 2. 연구의 범위

이 연구는 인천광역시 강화군(자도제외)을 대상으로 하고 있다. 인구는 약 65,000명이며 강화읍에만 강화군 전체인구의 1/3이 넘는 인구가 집중되어 있다. 고령자(65세이상) 인구가 전체 25%이상을 차지하고, 인구 추세는 지난 몇 년간 감소추세를 보였으나, 최근 경제자유구역 지정 및 수도권에서 가장 가까운 관광지로 각광을 받으면서, 소폭의 증가세로 돌아서고 있다. 면적은 411km<sup>2</sup>로서 용진군을 제외한 인천광역시 크기에 약 48%를 차지한다. 강화대교와 초지대교 등 두개의 다리로 육지와 연결되어 있으며 1개 읍, 12개면으로 구성되어 있다. 강화군내버스의 경우 삼산면, 서도면, 교동면 3개 섬 지역을 제외한 1읍 9개면에서만 운행되고 있다. 버스노선체계는 강화읍을 중심으로 9개면이 Many-to-One의 형태의 방사형 노선체계로 노선이 분포되어 있다. 1개 버스업체가 약 54개 노선, 22대의 버스로 전 지역을 운행하고 있으며, 1일 버сий용객수(2008년 기준)는 약 5,900명 수준이다. 2008년 4월 기준 강화군 버스노선을 대상으로 한 버스노선정보를 활용하였



〈그림 1〉 현 강화군내버스 노선망 및 통행량 희망선도

으며 GIS데이터의 경우 인천광역시 새주소 사업(2007)의 자료를 인용 하였다. 2008년 자료가 없는 경우는 가장 최근 통계자료를 활용하였다.

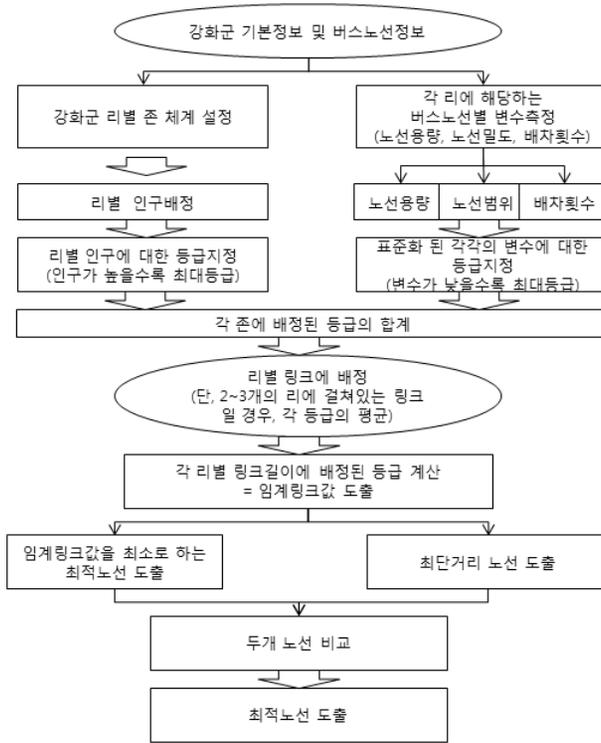
### 3. 연구방법론

GIS를 이용한 대중교통 노선망 설계방법의 선행연구를 살펴보면, Verma and Dhingm(2003)은 GIS를 이용하여 도시 가로네트웍에서 수요지향의 도시철도 노선축을 설계하였고, Sekhar et al.(2003)은 GIS를 활용한 노선기반분석(route-based analysis)으로 대중교통 노선상 인구 및 통행유발시설 밀집도, 저소득 거주자들의 노선접근성, 운행횟수 등을 고려하여 최적버스노선망을 설계하였다. 한편, Ramirez and Seneviratne(1996)는 교통존 기반분석(zone-based analysis)을 통해 각 교통존별 잠재이용수요를 추정하여 교통존내 가로망 링크에 점수(score)를 할당하는 방법으로 노선망 설계를 연구했다. Rood(1998)는 미국 지방정부위원회(Local Government Commission)에서 최초로 지역대중교통이용도지수(Local Index of Transit Availability: LITA)를 소개하였다. 이 지수(Index)는 대도시권이나 지방 도시내 서로 다른 생활권내에서 대중교통접근성을 측정하기 위하여 개발되었다. LITA는 어느 지역이 대중교통서비스가 좋은지, 열악한지를 보여주는 지수인데, 지방정부와 의회는 이 지수값에 따라 적절한 토지이용계획과 교통 계획을 수립하는데 참고를 하게 된다.

이 연구에서는 미국에서 적용하고 있는 LITA를 응용하여 지역별 현재 버스서비스수준과 버스이용도를 결합한 CIBA(County Index of Bus Availability)방법론을 인천광역시 강화군지역을 대상으로 적용하였다. CIBA분석은 교통존별 사회경제지표와 버스노선운행특성 등을 고려한 합리적 노선개편 방법으로 노선투입의 우선순위를 정하는 방법론으로 활용될 수 있다. 전체적인 방법론은 <그림 2>와 같으며 각 단계별 접근방법론은 다음과 같다.

첫째, 교통존별 버스노선 운행특성자료(노선용량,정류장밀도,운행횟수 등)와 사회경제지표자료(인구, 고령자수, 학생수 등)를 입력한다.

둘째, 입력자료 변수들의 성격을 정의하게 된다. 사회경제지표(인구, 종사자수 등)의 경우 잠재적 수요를 표현하는 가장 보편적인 변수로서 값이



〈그림 2〉 본 연구의 접근방법론

클수록 버스노선투입의 필요성을 갖는다. 반면에, 버스용량이나 정류장밀도, 차량운행횟수는 작을수록 현 노선체계에서 버스 서비스가 부족한 것을 나타내므로 신규노선투입의 필요성을 갖게 된다.

셋째, 버스노선 운행특성자료(노선용량, 정류장밀도, 운행횟수)변수를 동일한 값의 범위내에서 비교분석하기 위해 표준화값(Standardized Score)으로 전환하고, 음수값을 양수값으로 변환시키기 위해 일정상수를 더해주는 과정을 거친다.

넷째, 표준화 과정을 거친 변수들의 값에 대해서 등급을 설정한다. 사회경제지표(인구, 종사자수 등)가 높은 교통존에는 높은 등급을 부여하고, 버스노선 운행특성자료(노선용량, 정류장밀도, 운행횟수 등)가 낮은 교통존에는 높은 등급을 부여한다. 이는 버스노선 운행서비스의 중복도를 최소화 하면서 인구밀도가 높은 교통존에 버스이용도를 제고시키겠다는 정책적 의미

가 담겨있다.

다섯째, 교통존별 사회경제지표와 버스운행특성지표를 결합하여 도출된 지수값을 링크기반의 지수값으로 변환하기 위해 일련의 과정을 거친다. 교통존별 최소, 최대지수값을 고려하여 저항계수(impedence coefficient)를 도출하며, 분석된 값과 링크길이를 산정하여 링크저항계수값(impedance length)을 최종적으로 산출하게 된다.

마지막 단계로 지역내 버스노선체계 내에서 새로운 버스노선투입이 필요한 기종점 교통존을 파악하여 기종점간 링크의 링크저항계수값이 최소값을 갖는 최적노선을 도출하게 된다. 이는 존 기반 분석과 노선 기반 분석을 동시에 수행하는 복합적 버스노선체계 개편 기법이 될 수 있겠다.

## II. 강화군 적용 사례 연구

### 1. 목적함수 (Objective Function)

버스운영자의 경우 운행비용을 감소시키고 이용자의 경우는 통행시간을 줄이기 위해서 최단거리 노선을 선호한다. 반면 운행효율 측면에서 운행거리가 길어짐에도 불구하고 통행수요가 많은 지역을 운행하는 것이 적합한 경우도 있다. 따라서 잠재적 수요의 기반이 되는 인구와 출,퇴근 통행의 원인이 되는 근로자수가 높은 지역을 경유할 수 있다. 버스노선이 늘어나고 따라서 여러 노선이 같은 지역을 경유함으로써 노선의 중복도가 높아지는 경우 역시 운행효율 측면에서 피해야 할 부분이다.

이러한 요소를 바탕으로 목적함수를 구성하면 아래와 같다.

Min{Travel Time} : Minimize Travel Time

⇒ 최단시간경로

Max{Pop, Density} : Maximize Trip Generation Coverage

⇒ 통행인구밀집지역을 운행구역으로 최대한 포함

Min{Route Overlap} : Serve the underserved area

⇒ 노선중복(overlapping/duplication)을 최소화

## 2. 버스용량 (Bus Capacity) : 인구 1인당 버스 좌석수 · km

존별 버스용량은 인구대비 운행노선버스 좌석수를 의미한다. 현재의 버스공급정책이 지역주민의 인구에 비하여 얼마나 제공되는가를 알 수 있다. 좌석수의 경우 강화군에서 이용되는 버스 규격을 반영한 것으로 1대당 25개 좌석수를 기준으로 운행횟수 만큼을 계산하여 도출하였다.

$$C_{GangHwa} = \frac{BS \times L_{GangHwa}}{Pop_{GangHwa}}$$

여기서,

- $C_{GangHwa}$  : Capacity score in the GangHwa
- $L_{GangHwa}$  : Route length
- $Pop_{GangHwa}$  : Population in GangHwa
- $BS$  : Total daily bus seats

## 3. 버스서비스의 공간적 분포 (Bus Coverage) : 버스정류장 밀도

버스서비스의 공간적 분포는 단위 면적당 분포되어 있는 버스 정류장의 수를 의미하는 것으로서 각 존 별 버스서비스의 접근성(Accessibility) 정도를 알 수 있는 지표이다. 각 존 단위별로 정류장 수를 조사한 뒤 면적으로 나눠 단위 면적당 정류장 개수를 산출한다.

$$CO_{GangHwa} = \frac{S_{GangHwa}}{A_{GangHwa}}$$

여기서,

- $CO_{GangHwa}$  : Coverage score in the GangHwa
- $S_{GangHwa}$  : Number of bus stops
- $A_{GangHwa}$  : Area of the GangHwa

## 4. 버스운행횟수 (Bus Route Frequency) : 1일 총 버스운행횟수

버스운행횟수는 배차간격과 관련 있는 지표로서 버스대기시간(Waiting

Time) 정도를 알 수 있는 지표이다. 버스 운행횟수는 각 존내 모든 정류장에 대해서 적어도 한개 정류장을 경유하는 버스노선에서 부터 존내 모든 정류장을 경유하는 버스노선까지 하루동안 존내 버스정류장을 통과한 총 버스대수를 의미한다.

$$F_{GangHwa} = TB, \text{ if } L_{GangHwa} \text{ has at least one stop in GangHwa:}$$

$$0, \text{ otherwise}$$

여기서,

- $T_{GangHwa}$  : Frequency score in the GangHwa
- TB : Total number of buses

### 5. 버스 서비스 이용도 지수 (CIBA: County Index of Bus Availability)

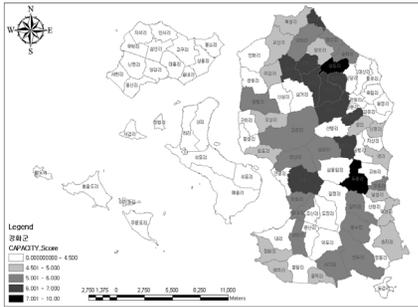
CIBA값은 지역별 현재 버스서비스수준(버스용량, 버스정류장밀도, 운행횟수)과 버스이용도를 결합한 서비스 이용도 지수이다. 즉, 인구밀도가 높은 지역 이면서, Capacity(버스용량), Coverage(버스정류장밀도), Frequency(버스 운행횟수)값들이 적을수록 버스 서비스 공급이 필요한 지역으로 판단할 수 있다.

인구를 제외한 버스용량, 버스정류장밀도, 버스 운행횟수의 값의 범위가 서로 상이하므로 각 지표의 평균( $m=0$ )과 분산( $\sigma=1$ )인 정규분포를 갖는 값으로 표준화(Standardization) 과정을 거치도록 한다.

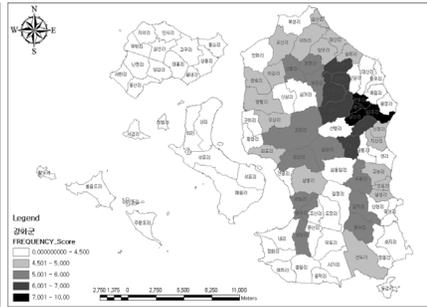
$$\text{Standardized score} = \frac{([\text{capacity, frequency or coverage score}] - [\text{mean of distribution}])}{[\text{standard deviation}]}$$

표준화시킨 값은 음수 값일 수 있으므로 5를 더 하여 양수 값으로 변환시키는 rescaling 과정을 거친다. 세 지표의 합계를 통해 현 노선체계의 서비스수준 지수 (CIBA: County Index of Bus Availability)를 도출한다.

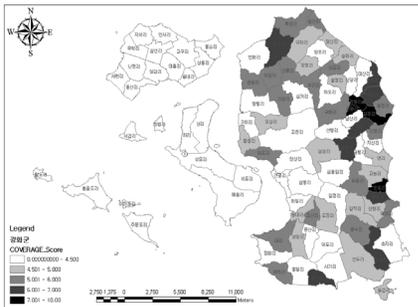
$$\text{Overall CIBA score} = [\text{Capacity score}] + [\text{frequency score}] + [\text{bus coverage score}]$$



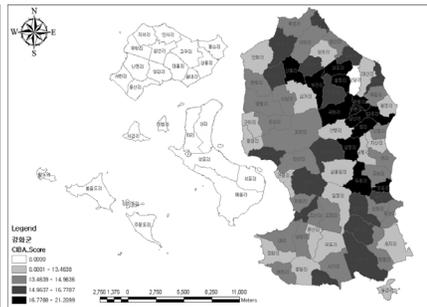
〈그림 3〉 교통준별 Capacity Score



〈그림 4〉 교통준별 Frequency Score



〈그림 5〉 교통준별 Coverage Score



〈그림 6〉 교통준별 CIBA Score

각 준의 표준화 시킨 수치는 <표1>과 같이 5등급으로 분류 할 수 있다.

〈표 1〉 교통준별 Population, Capacity, Frequency, Coverage에 대한 등급 분류

| Maximizing Trip Coverage |             | Minimizing Bus Route Overlapping |           |          |           |
|--------------------------|-------------|----------------------------------|-----------|----------|-----------|
| GH score                 | population  | GH score                         | capacity  | coverage | frequency |
| 1                        | < 300       | 5                                | < 4.5     |          |           |
| 2                        | 300 - 600   | 4                                | 4.5 - 5.0 |          |           |
| 3                        | 600 - 1200  | 3                                | 5.0 - 6.0 |          |           |
| 4                        | 1200 - 2100 | 2                                | 6.0 - 7.0 |          |           |
| 5                        | 2100 +      | 1                                | 7.0 +     |          |           |

Maximization

Total population = if(Tazi)>2100,"5",if(Tazi)>1200,"4",if(Tazi)>600,"3",if(Tazi)>300,"2","1"))

Minimization

Capacity, Coverage and frequency

=if(Tazi)>7,"1",if(Tazi)>6.0,"2",if(Tazi)>5.0,"3",if(Tazi)>4.5,"2","1"))

인구가 많을수록, 반면에 *Capacity*, *Coverage*, *Frequency* 의 경우는 낮을수록 5에 가까운 지수(*Index*)를 받게 된다.

〈표 2〉 교통존별 *Population*, *Capacity*, *Frequency*, *Coverage* 에 대한 *Index* 계산

| No  | TAZ | Pop. | Index | Capacity | Index | Frequency | Index | Coverage | Index | Total Index |
|-----|-----|------|-------|----------|-------|-----------|-------|----------|-------|-------------|
| 1   | 북성리 | 483  | 2     | 4.603    | 4     | 4.373     | 5     | 5.139    | 3     | 14          |
| 2   | 철산리 | 96   | 1     | 6.895    | 2     | 4.514     | 4     | 5.412    | 3     | 10          |
| 3   | 덕하리 | 521  | 2     | 5.276    | 3     | 4.655     | 4     | 4.651    | 4     | 13          |
| 4   | 교산리 | 483  | 2     | 4.628    | 4     | 4.514     | 4     | 6.065    | 2     | 12          |
| 5   | 당산리 | 334  | 2     | 5.032    | 3     | 4.678     | 4     | 4.707    | 4     | 13          |
| ... | ... | ...  | ...   | ...      | ...   | ...       | ...   | ...      | ...   | ...         |
| 69  | 솔정리 | 518  | 2     | 6.603    | 2     | 6.391     | 2     | 4.817    | 4     | 10          |
| 70  | 월곶리 | 350  | 2     | 4.303    | 5     | 4.373     | 5     | 6.474    | 2     | 14          |
| 71  | 옥림리 | 1583 | 4     | 4.019    | 5     | 4.373     | 5     | 6.118    | 2     | 16          |
| 72  | 신당리 | 340  | 2     | 3.939    | 5     | 4.162     | 5     | 3.633    | 5     | 17          |

## 6. 링크저항계수(Impedance Length)

$$C_i = (S_{\max} / S_i) \times L_i$$

여기서:

$S_{\max}$  : the maximum value of  $S_i$  for all segments

$S_i$  : the optimization score of segment  $i$

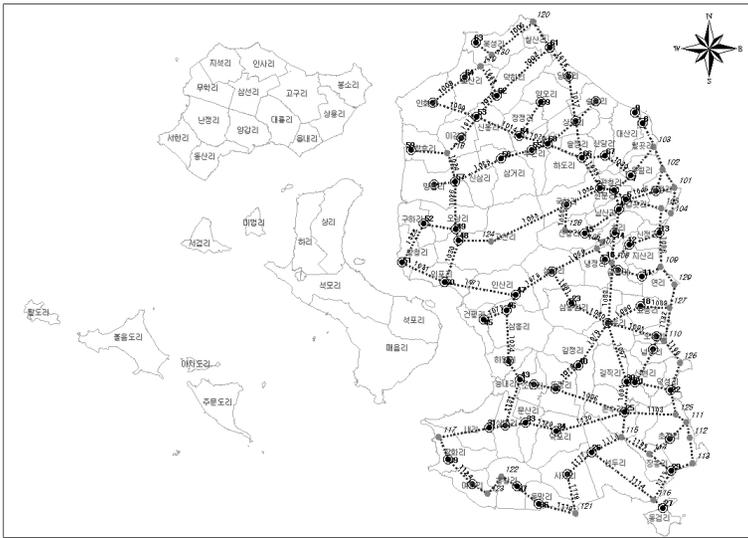
$L_i$  : length of the segment  $i$  in kilometers

$(S_{\max}/S_i)$  : represents the impedance coefficient

집계된 표준화 값에 Indexing 과정을 거쳐 지수값을 부여하고, 이 지수들의 합(Total Index)은 각 존에 배정된다. 이때, 교통존 기반의 지수값은 링크기반의 지수값으로 변환하기 위해 각 존내 버스 노선링크 길이에 따라 링크저항계수를 산출한다. 이때  $Total\ Index(S_i)$ 의 최대값  $S_{\max}$  를 각 교통존의  $S_i$ 로 나눈 저항값(Impedance Coefficient)에 존내에 포함된 가로망 링크길이를 고려한 링크저항계수  $C_i$  를 산출한다. 단, 링크가 두개 이상의 다른 존 간에 걸쳐 있 경우 존간  $S_i$  를 평균한 값을 링크저항계수  $C_i$  값 산출시 적용한다.

<표 3> 각 link 별  $C_i$  계산 결과

| LINK ID | Length ( $L_i$ ) | $S_i$ | Impedance Coefficient ( $S_{max}/S_i$ ) | Impedance Length ( $C_i$ ) |
|---------|------------------|-------|---|----------------------------|
| 1001    | 2.00             | 12.00 | 1.42                                    | 2.83                       |
| 1002    | 4.20             | 11.50 | 1.48                                    | 6.21                       |
| 1003    | 2.00             | 12.50 | 1.36                                    | 2.72                       |
| 1004    | 1.00             | 14.00 | 1.21                                    | 1.21                       |
| ...     | ...              | ...   | ...                                     | ...                        |
| 1130    | 4.20             | 16.30 | 1.04                                    | 4.38                       |
| 1131    | 2.70             | 12.50 | 1.36                                    | 3.67                       |
| 1132    | 1.80             | 12.00 | 1.42                                    | 2.55                       |



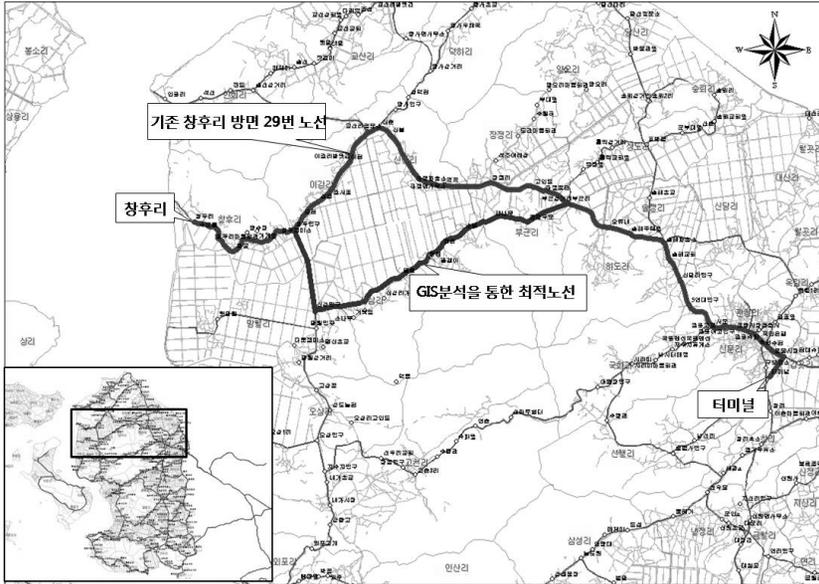
<그림 7> 각 link 별  $C_i$  계산 결과

## 7. 신설노선(안) 생성(GIS best-route finding analysis)

최적노선을 도출하기 위해 마지막 단계로 기, 종점을 지정한 후 종점까지 모든 경로 중 *Impedance Length* ( $C_i$ )를 최소로 하는 노선을 찾아낸다.

$$\min \sum_{I=O_i}^{D_i} C_i$$

분석 결과 ‘강화군 터미널’과 ‘창후리’를 연결하는 29번 노선의 경우 기존은 ‘하점면사무소’를 경유해서 지나가고 있지만 위의 과정을 거친 GIS 분석 결과 ‘부근리고인돌’을 경유해서 ‘신삼리’를 거치는 경우를 최적노선으로 찾을 수 있었다.



〈그림 8〉 GIS 분석을 통한 신설노선(안) 생성

### III. 결론 및 향후 연구과제

강화군 지역의 경우 411km<sup>2</sup>면적에 군내버스 22대로 52개 노선을 운행함에 따라 해당 평균 1일 운행거리가 400km수준으로 지역내 주민들의 대중교통서비스 이용도는 도시부와 비교시 매우 열악하다. 강화군의 지역공간구조 여건상 다양한 방법의 버스노선개편방법론이 있을 수 있으나 이 연구에서는 차량 증차 시 신규노선투입지역을 어떻게 발굴할 것인지에 대한 방법론에 대해서 간략히 살펴보았다. 이 연구에서는 미국에서 적용하고 있는 LITA를 응용하여 지역별 현재 버스서비스수준과 버스이용도를 결합한 CIBA(County Index of Bus Availability)방법론을 인천광역시 강화군

지역을 대상으로 적용하였다. CIBA분석은 교통존별 사회경제지표와 버스 노선운행특성 등을 고려한 합리적 노선개편 방법으로 노선투입의 우선순위를 정하는 방법론으로 활용될 수 있음을 발견할 수 있었다. 향후 연구과제로는 이 연구에서 적용한 방법론으로 수도권 도심과 외곽지역을 연결하는 신규광역버스노선발굴이나 광역철도망 노선대안 발굴 등 수도권 내 대중교통서비스가 열악한 지역이 어디이며, 이 지역에 대한 토지이용계획과 교통계획 정책방향 수립 시 적용가능한 방법론이라 판단된다.

## 참고문헌

1. 강화군(2007), 강화군 통계연보
2. 강화군(2009), 강화군 버스노선체계개편 연구(중간보고서), 인천발전연구원.
3. Mintesnot Gebeyehu and Shin-ei Takano(2008), "Demand Responsive Route Design: GIS Application to Link Downtowns with Expansion Areas", Journal of Public Transportation, Volume 11. No.1, University of South Florida.
4. Rood, Timothy(1998), "The local index of transit availability, an implemenation manual", Local Government Commission
5. TRB(1995), "Bus route evaluation standards", TCRP Systhesis 10.
6. TRB(2003), "Transit capacity and quality of service manual,(2nd ed)", TCRP Report 100.



한종학



김준영



황익수