

## 주성분분석을 이용한 간선도로 구간 별 차량 당 CO<sub>2</sub> 다량 배출구간 평가

이윤석\* · 김다예\*\* · 오흥운\*\*\*

Lee, Yoon Seok\*, Kim, Da Ye\*\*, Oh, Heung Un\*\*\*

### Assessment of CO<sub>2</sub> Emissions of Vehicles in Highway Sections Using Principal Component Analysis

#### ABSTRACT

CO<sub>2</sub> emissions of vehicles vary with vehicle's speeds. In addition, the speeds vary with road type, location, time and traffic volume. In this paper, the section in which a large quantity of CO<sub>2</sub> emissions per vehicle is exhausted is determined and analyzed with principal component analysis(PCA). In results of analysis, the principal components analysis were divided into two principal components.. It had been identified that the main component was the time zone one which is able to explain each components' role. The first principal component could explain the role of a major component on CO<sub>2</sub> emissions per vehicle in the early morning and afternoon hour, respectively. The second principal component could explain the role of the component on CO<sub>2</sub> emissions per vehicle in the morning and afternoon peak hours, respectively. Therefore, the section in which a large quantity of CO<sub>2</sub> emissions per vehicle could be determined by PCA scores.

**Key words :** CO<sub>2</sub> emissions, Travel speed, Road type, Sensitivity

#### 초 록

차량의 CO<sub>2</sub> 배출량은 통행속도에 따라 다르게 나타난다. 또한, 차량의 통행속도는 도로의 종류나 위치, 시간대, 교통량 등에 따라 다르게 나타난다. 본 논문에서는 주성분분석(PCA : Principal Component Analysis)을 이용하여 간선도로 구간 별·시간대 별로 차량 당 CO<sub>2</sub> 다량배출구간을 판별하여 평가하였다. 분석 결과, 주성분분석 결과 제 1주성분과 제 2주성분으로 성분이 구분되는 것을 알 수 있었고 시간대가 각 주성분을 설명할 수 있는 주요 성분임을 알 수 있었다. 제 1주성분의 경우 새벽시간대와 오후시간대로 주성분을 설명할 수 있었다. 제 2주성분의 경우 오전, 오후 첨두시 시간대로 주성분을 설명할 수 있었다. 그리고 주성분 점수를 산출하여 분석한 결과 제 1주성분의 경우 새벽시간대에도 정체현상이 지속되는 잠원IC~한남대교 구간이 타 구간에 비해 주성분 점수가 높게 나타났고 제 2주성분의 경우 오전,오후 첨두시의 정체현상이 극심한 서울시 집속부와의 이격이 가까운 구간에서 주성분 점수가 높게 나타났다. 결과적으로 주성분 점수를 통하여 차량 당 CO<sub>2</sub> 다량 배출 구간을 판별할 수 있었다.

**검색어 :** CO<sub>2</sub> 배출량, 통행속도, 간선도로 별, 민감도

\* 한국도로공사 도로교통연구원 교통연구실 과제연구원 (oungge@naver.com)

\*\* 정희원·경기대학교 도시교통공학과 석사과정 (dykim0225@gmail.com)

\*\*\* 정희원·교신저자·경기대학교 도시교통공학과 교수 (Corresponding Author·Kyonggi University·ohheung@gmail.com)

Received May 23, 2012/ revised August 13, 2012/ accepted April 10, 2013

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

차량의 CO<sub>2</sub> 배출량은 통행속도와 밀접한 관련이 있다. 속도에 따라 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량이 다르게 나타나기 때문이다. 또한, 차량의 통행속도는 도로의 종류나 위치, 시간대, 교통량 등에 따라 다르게 나타난다. 본 논문에서는 주성분분석(PCA : Principal Component Analysis)을 이용하여 간선도로 구간 별로 차량 당 CO<sub>2</sub> 다량 배출구간을 판별하여 평가하였다. 속도변화는 1차원적이지만 탄소가스 변화는 속도변화는 달리 2차원적인 증감을 보이므로 CO<sub>2</sub>발생특성이 속도특성과 반드시 일치하지 않으므로 이를 감안하여 구간특성이 나타날 것으로 예상된다.

본 연구를 통하여 CO<sub>2</sub> 배출량에 영향을 미치는 주성분을 파악하고 위치별, 시간대별로 차량 당 CO<sub>2</sub> 다량 배출구간을 판별해 보고자 한다.

구체적으로 속도와 이와 관련된 CO<sub>2</sub> 배출량 곡선에 단순하게 판별하던 CO<sub>2</sub> 다량 배출구간에 대하여 시간과 공간을 기준으로 그루핑할 수 있는 방법론의 적용가능성이 있음을 알아보고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

연구의 범위는 위치에 따라 수도권 내의 고속도로, 도시 고속도로, 일반국도로 나누어 분석하였다. 또한, 통행속도 자료의 경우 경기도 교통정보센터 노선별, 구간별 통계 정보를 이용하였다.

연구의 공간적 범위는 크게 수도권 내의 고속도로와 도시고속도로, 일반국도로 나누어 분석하였다. 세부적으로 고속도로는 수도권 내의 경부고속도로(안성IC~안성JC, 잠원IC~한남대교), 서해안고속도로(행담도휴게소~서평택IC, 일직JC~금천IC)로 선정하였다. 도시고속도로의 경우 강변북로(한강대교~동작대교)와 자유로(구산C~이산포JC), 일반국도의 경우 1번국도(경기도계~비전지하차도사거리, 안양육교삼거리~서울시계)로 선정하여 분석하였다. 구간에서의 통행속도의 경우 00~23시까지 전일 통행속도를 이용하였다. 또한, 연구구간 선정은 서울시와의 이격과 관련이 깊다. 서울시 접속부와의 이격에 따라 통행속도 및 교통량 특성이 다르게 나타난다. 따라서, 서울시 접속부와의 이격에 가까운 구간과 먼 구간으로 구분하여 연구구간을 선정하여 분석해 보았다.

연구의 방법론으로는 첫째, 간선도로 별로 시간대 별 통행속도를 이용하여 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하였다. 둘째, 서울시 접속부와의 이격거리를 기준으로 선정된 대상구간의 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량을 비교하였다. 셋째, 간선도로 구간별로 산출된 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량을 통하여 주성분분석을 실시하였다. 넷째, 주성분 점수를 산출하여 간선도로 구간별로 차량 당 CO<sub>2</sub> 다량 배출구간을 판별하였다.

## 2. 관련 문헌 조사

### 2.1 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량 관련 선행연구

국립환경과학원(2011)은 다음과 같이 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출계수 산출식을 제안하였다.

Table 1. Equation of CO<sub>2</sub> Emissions Factors Per Vehicle

	Fuel	Speed	Equation of CO <sub>2</sub> emissions	
Passenger car	Compact car	Gasoline	< 65.4km/h	$y = 887.12x - 0.5703$
			≥ 65.4km/h	$y = 0.9303x + 30.821$
	Small car	Gasoline	< 65.4km/h	$y = 1313.7x - 0.6$
			≥ 65.4km/h	$y = 0.5447x + 78.746$
		Diesel	< 65.4km/h	$y = 1133.1x - 0.587$
			≥ 65.4km/h	$y = 0.6175x + 62.478$
	Midsize car	Gasoline	< 65.4km/h	$y = 1555.5x - 0.578$
			≥ 65.4km/h	$y = 0.0797x + 144.19$
		Diesel	< 65.4km/h	$y = 1818.1x - 0.6643$
			≥ 65.4km/h	$y = 0.3184x + 95.66$
		LPG	< 65.4km/h	$y = 1539.4x - 0.5748$
			≥ 65.4km/h	$y = 0.5056x + 117.39$
Taxi	LPG	< 65.4km/h	$y = 1805.7792x - 0.6322$	
		≥ 65.4km/h	$y = 0.3239x + 114.0621$	
RV			∴	
Van			∴	
Heavy vehicle			∴	

\* Source : National Institute of Environmental Research

차량의 종류별, 연료별, 차속별로 세분화하여 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출계수 산출식을 제안하고 있다.

특히, 차량속도 별로 배출계수 산출식을 달리 제안하였다는 점이 현실성을 크게 반영하였다고 판단하여 본 논문에서 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량 산출 시 사용하였다.

상대적으로 국내 선행연구보다 국외에서는 차량의 CO<sub>2</sub> 배출과 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있다.

Alessandra(2002)는 온실가스 배출량 산정을 위한 모델을 개발하여 도로 교통의 부정적 영향을 완화하고 교통 정책의 평가 척도로 사용하기 위하여 CO<sub>2</sub> 배출량 연구를 실시하였다.

Fig. 1을 보면 전체적으로 L자에 가까운 U자 형태를 띄고 있다. 또한 배출량은 최대 469g/km에서 최소 125g/km까지 분포하고 있으며 평균적으로 199g/km의 배출량을 나타내고 있다. 또한, 저속구간에서 많은 CO<sub>2</sub>가 배출되는 것을 알 수 있다.

선행연구 및 문헌고찰에서 알 수 있듯이 속도에 따라 CO<sub>2</sub> 배출량은 상이하게 나타난다는 것을 알 수 있다.

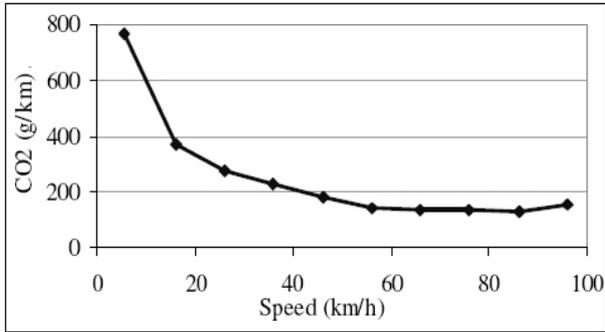


Fig. 1. CO<sub>2</sub> Emissions Per Vehicle by Travel Speeds

Source : Alessandra, C. (2002), "Modeling Traffic Flow Emissions"

## 2.2 주성분분석 관련 선행연구

정수정 외(2010)는 주성분분석을 이용하여 사면의 위험성을 평가하였다. 사면의 이상 거동 및 붕괴 감지를 위해 실제 계측시스템 설치 후 이상보고가 있었던 사면을 대상으로 비모수적 통계방법인 주성분분석(PCA : Principal Component Analysis)을 적용하였다.

분석결과, Fig. 2와 같이 사면의 이상거동여부를 나타내는 척도인 주성분점수는 이상징후 발생시 정상상태에 비해 상대적으로 크거나 낮은 값을 나타내어 변화량에 큰 차이를 보였다.

이를 통해 주성분 분석을 이용하여 사면의 이상 거동 및 붕괴를 감지할 수 있는 것을 확인하였다. 주성분분석을 활용하여 정량적인 사면거동 및 이상 징후의 예측이 가능할 것으로 판단하였다.

김영일 외(2004)는 주성분분석을 이용하여 고속도로의 여가성 도로구간 판별에 관한 연구를 실시하였다. 주5일제 근무제가 본격적으로 시행됨에 따라 여가에 대한 관심이 증가함에 따른 문제들이 발생할 것으로 예상된다. 이에 따른 여가 통행의 증가로 정체가 발생한 구간을 판별하고 분류하여 이에 대한 도로교통 운영 및

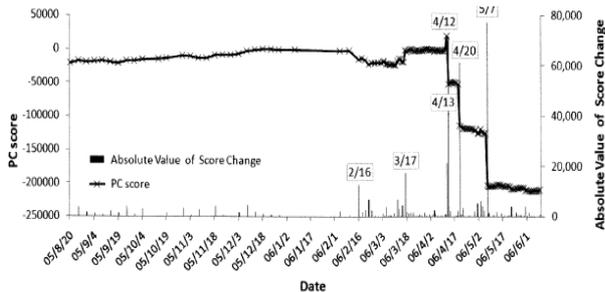


Fig. 2. Principal Component Scores and Variations

\* Source : Jung,S.J., Risk Evaluation of Slope Using Principal Component Analysis(2010)

정비 등의 대응방안이 필요할 것으로 판단되어 주성분 분석을 실시해 판별하였다.

교통량을 이용하여 고속도로의 여가성 도로구간을 주성분분석을 통하여 판별하는 연구를 수행하여 여가성 도로와 비여가성 도로 통행특성 관계를 각 변수들의 특성을 규명하여 연구 수행의 근거를 제시하였다.

주성분 분석을 통하여 주성분점수를 산출한 결과 고속도로의 총 197개의 구간 중 여가성 도로구간과 비 여가성 도로구간을 추출하여 분류하고 각 변수들의 비 여가성 도로구간과 여가성 도로구간으로 분류할 수 있는 기준을 제시하였다. 본 논문은 주성분 분석을 이용하여 여가성 통행구간의 분류가능성을 연구하였다.

## 3. 자료수집 및 분석방법론

### 3.1 자료수집

본 연구에서 사용한 자료수집의 경우 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량의 경우 국립환경과학원(2011)의 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출계수 산출식을 이용하여 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하였다.

둘째, 속도자료의 경우 경기도 교통정보 센터의 노선별, 구간별 평균통행속도 자료(상행기준)를 이용하였으며 2010년 10월 셋째 주 수요일 00시-23시 시간별 자료를 활용하였다.

### 3.2 분석방법론

#### 3.2.1 주성분분석 분석방법

주성분분석(PCA : Principal Component Analysis)이란 서로 상관성이 있는 다변량 데이터를 내포된 정보의 손실을 가능하게 해서 저차원의 데이터로 축약하는 다변량 비모수적(non-parametric)방법이다. 즉, 복잡한 데이터 세트를 단순화하기 위한 다변량 통계 기법이다.

주성분은 각 변수에 가중치를 주어 합성하는 것에 의해 구해진다. 그때 원래 변수가 가지고 있는 정보를 최대한 이용하여 개체간의 분산이 최대가 되도록 가중치를 붙인다. 원래의 변수가 가지고 있는 다수의 주성분이 존재하는 경우에는 각각의 주성분은 서로 상관(correlation)이 없도록, 즉 서로 다른 주성분간의 공분산이 0이 되도록 결정한다. 이들의 관계는 다음의 Eq. (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 z_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n \\
 z_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n \\
 z_3 &= a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n \\
 &\vdots \\
 z_m &= a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Table 2. Speeds and CO<sub>2</sub> Emissions Per Vehicle (by Sections)

section	Time	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Anseong IC - Anseont JC(58.5km)	Speeds	93	64	67	68	65	62	64	70	74	73	69	67	67	65	66	64	67	73	79	86	92	93	92	95
	CO <sub>2</sub> Emissions	152	141	150	150	139	145	141	150	150	150	150	150	150	139	149	141	150	150	150	151	152	152	152	152
Janwon IC - Hamam Bridge(1.2km)	Speeds	42	82	-	-	-	32	29	21	25	24	20	27	31	31	29	27	28	29	28	27	31	30	31	31
	CO <sub>2</sub> Emissions	179	151	-	-	-	210	222	268	242	248	275	231	214	214	222	231	227	222	227	231	214	218	214	214
Haengdamisland rest area - west pyeongtaek IC(64.0km)	Speeds	101	99	99	98	97	94	97	101	101	102	98	88	102	101	103	102	100	102	101	99	98	99	99	101
	CO <sub>2</sub> Emissions	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	151	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152
Iljic JC - Yisanpo JC(32.0km)	Speeds	103	96	99	98	97	97	86	25	14	13	28	86	86	84	72	40	21	16	16	19	44	83	86	90
	CO <sub>2</sub> Emissions	152	152	152	152	152	152	151	242	338	353	227	151	151	151	150	184	268	313	313	284	175	151	151	151
Kusan IC - Yisanpo JC(320km)	Speeds	78	79	80	80	80	82	82	82	82	81	81	81	82	81	81	69	80	80	78	79	80	80	81	81
	CO <sub>2</sub> Emissions	150	150	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	150	151	151	150	150	151	151	151	151
Hanriver bridge-Dongjak bridge(4.2km)	Speeds	79	79	79	79	79	79	50	29	16	21	26	36	78	53	35	32	31	30	19	20	57	72	74	79
	CO <sub>2</sub> Emissions	150	150	150	150	150	150	162	222	313	268	237	196	150	157	199	210	214	218	284	275	150	150	150	150
Gyeonggi-do boundary - Bijununder Pass(320.km)	Speeds	62	-	71	-	75	60	64	60	-	61	63	64	63	62	64	62	62	66	56	63	66	63	65	63
	CO <sub>2</sub> Emissions	143	-	150	-	150	146	141	146	-	145	142	141	142	143	141	143	143	149	152	142	149	142	139	142
Anyangviaduct - Seoul-si boundary(4.2km)	Speeds	41	-	43	-	43	40	39	28	-	36	37	36	37	37	35	37	33	34	34	34	36	37	38	40
	CO <sub>2</sub> Emissions	182	-	177	-	177	184	187	227	-	196	193	193	193	193	199	193	206	203	203	203	196	193	190	184

cf) () : Separation distance from part of access in seoul

여기서,  $z_1 \sim z_m$ 은 주성분,  $x_1 \sim x_n$ 은 원래의 변수,  $a_{11} \sim a_{mm}$ 은 가중치이다. 분석결과에 의해, 각 주성분의 고유치가 1 이상 또는 누적기여율이 80%를 넘는 것을 기준으로 하여 주성분을 선택한다. 주성분  $z_1 \sim z_m$ 의 식이 구해지면 그 식에  $x_1 \sim x_n$ 의 구체적인 수치를 대입함으로써 각 관측대상마다 주성분 값을 구할 수 있으며 이 수치를 주성분 점수라고 부른다. 이때, 산정된 주성분 점수가 상대적으로 높거나 낮은 값을 나타내면 즉 이전 값과 비교하여 큰 변화량이 보이면 이상 데이터를 나타내게 된다.

따라서, 본 논문에서는 주성분분석을 통하여 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량이 위치에 따라 어떠한 특성을 보이고 있는지 그룹화되는 주성분을 파악한다. 그리고 주성분 점수를 산출하여 간선도로 구간별로 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량 다량 배출구간을 판별하였다.

### 3.2.2 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량 분석방법

본 논문에서 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하기위하여 기존문헌에서

제시된 국립환경과학원(2011)의 CO<sub>2</sub> 배출계수 산출식(승용-중형-휘발유)을 활용하여 산출하였다. 산출시 사용된 식은 다음과 같다.

$$65.4\text{km/h미만 } y = 1555.5x - 0.578$$

$$65.4\text{km/h이상 } y = 0.0797x + 144.19 \quad (2)$$

Eq. (2)를 통하여 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하기 위해서는 통행속도가 필요하다. 통행속도의 경우 경기도 교통정보 센터의 노선별, 구간별 평균통행속도 자료(상행기준)를 이용하였으며 2010년 10월 셋째 주의 00사-23시까지 전 시간대 자료를 이용하였다.

## 4. 분석결과

### 4.1 주성분 분석 결과

주성분 분석을 위해 분석틀은 SPSS ver.12를 이용하였다. 수도

권내 간선도로 8개의 구간을 대상으로 24개의 변수를 사용하여 수행하였다. 구간의 경우 간선도로 별로 서울시 접촉부와의 이격에 따라 선정하였으며 변수의 경우 2010년 10월 셋째주 수요일 00시-23시까지 시간대 별 통행속도를 기준으로 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하여 변수로 지정하였다. 주성분 분석결과 다음과 같이 성분행렬이 산출 되었다.

이래의 Table 3과 같이 주성분 분석결과 제 1주성분과 제 2주성분, 2개의 주성분으로 성분이 분류되어 그룹화 되는 것을 알 수 있다.

Table 3. Rotated Component Matrix

Variables(times)	The first component	The second component
22	.985	.087
21	.984	.073
23	.981	.072
06	.970	.206
13	.959	.182
05	.894	.081
11	.889	.317
00	.883	.080
16	.872	.316
14	.852	.333
15	.724	.645
01	.714	.443
04	.710	.094
03	.708	-.093
02	.706	-.022
12	.700	.013
18	.106	.986
08	.041	.977
09	.107	.977
19	.177	.967
17	.123	.948
20	.296	.935
10	.639	.743
07	.644	.728

회전된 성분행렬을 정렬하면 Table 4와 같다.

위의 Table을 토대로 주성분 별 성분행렬 변수들을 살펴보면 제 1주성분의 경우 새벽 시간대와 오후 시간대에 변수들이 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 이는 교통량이 적은 시간 즉, 자유속도로 운행하고 있는 시간대의 변수들이 그룹화 되었음을 알 수 있다. 제 2주성분의 경우 오전첨두시와 오후첨두시의 변수들이 포함되

있는 것을 알 수 있다. 이는 교통량이 많은 시간 즉, 정체가 극심한 상태의 시간대의 변수들이 그룹화 되었음을 알 수 있다. 따라서, 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량의 경우 시간대에 따라 다르게 배출되며 특히 자유속도로 주행할 경우와 정체가 극심할 경우의 통행속도 차이에 따라 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량도 차이가 나는 것을 알 수 있다.

Table 4. Variables by Principal Components

	The first component (non-peak hour)	The second component (Peak hour)
Variables (times)	00,01,02,03,04,05,06,11,12, 13,14,15,16,21,23	07,08,09,10,17,18,19,20

#### 4.2 주성분 점수 산정 결과

제 1 주성분과 제 2 주성분을 이용하여 24개 시간대 별 변수를 대상으로 각 변수에 대한 적재값을 구하고 각 주성분별 고유치비율을 기중치한 기중평균을 통해 주성분점수를 산정하였다. 이는 각 주성분이 설명하는 비율에 따라 기중치를 부여함으로써 자의적이고 편파적인 판단을 하지 않도록 도와준다.

이래의 Table 5는 구간 별로 산출된 주성분 점수이다.

Table 5를 보면 제 1 주성분의 경우 잠원IC~한남대교 구간이 주성분 점수가 높게 산출되었다.

타 구간에서는 모두 0~1점 사이에 분포하고 있으나 잠원 IC~한남대교 구간은 2.22점으로 다른 구간에 비해 높은 점수가 산출되었다.

제 1 주성분의 경우 교통량이 적은 자유속도로 주행하는 시간대의 변수들이 그룹화된 특징이 있다. 이러한 특징을 토대로 살펴볼때, 잠원IC~ 한남대교 구간은 타 구간에 비해 교통량이 적은

Table 5. PC Scores by Sections

	The first component	The second component
Anseong IC-Anseong JC (58.5km)	-0.3071	-0.9705
Jamwon IC- Hannam bridge (1.2km)	2.22639	0.20009
Haengdamisland rest area- westpyeongtaek IC (64.0km)	-0.35812	-0.69163
Iljic JC-Geumcheon IC(14.2km)	-0.77565	1.8342
Kusan IC-Yisanpo JC (32.0km)	-0.37174	-0.74587
Hanriver bridge-Dongjak bridge (4.2km)	-0.2559	1.10086
Gyeonggi-do boundary- bijununderpass (32.0km)	-0.78705	-0.63086
Anyangviaduct -Seoul-si boundary (4.2km)	0.62917	-0.0963

cf) ( ) : Separation distance from part of access in seoul

시간대라고 할 수 있는 새벽이나 오후 시간대에도 계속해서 정체현상이 발생하고 있는 것을 알 수 있다.

Table 2를 토대로 제 1주성분에 포함변수의 평균 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량을 확인해 보았다. 잠원IC~한남대교 구간을 제외한 전 구간에서 150~190(g/km/대)에 분포하는 것을 알 수 있다. 하지만 잠원IC~한남대교 구간의 평균 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량의 경우 211.3(g/km/대)로 타 구간에 비해 약 20~70(g/km/대)이상 많이 배출되는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 잠원IC~한남대교 구간은 24시간 계속해서 정체현상이 일어나기 때문에 주성분 점수가 다른 구간에 비해 높게 산출된 것으로 판단할 수 있다.

다음으로 제 2 주성분의 경우 잠원IC~한남대교, 일직JC~금천IC, 한강대교~동작대교 구간이 주성분 점수가 높게 산출되었다.

제 2 주성분의 경우 교통량이 많은 정체현상이 발생하는 시간대의 변수들이 그룹화된 특징이 있다. 주성분 점수가 높게 산출된 잠원IC~한남대교, 일직JC~금천IC, 한강대교~동작대교 구간은 공통적으로 서울시 접속부와의 이격이 가까운 구간으로서 특히 오전, 오후 첨두시에 극심한 정체현상으로 인하여 통행속도가 매우 낮다는 특징이 있는 구간이다.

제 1 주성분과 제 2주성분의 주성분 점수를 산출하여 특징을 살펴본 결과 주성분 점수가 높게 산출된 구간에서 타 구간에 비해 다량의 차량 당 CO<sub>2</sub>가 배출되는 것을 알 수 있다.

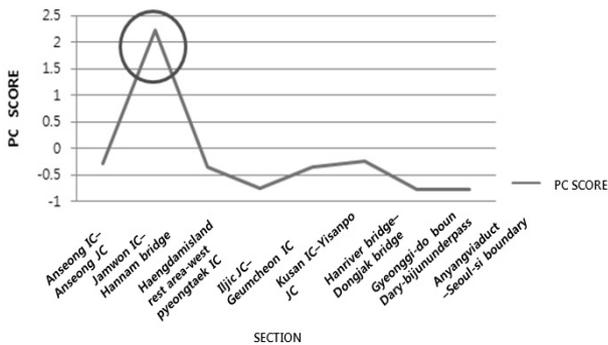


Fig. 3. The First PC Scores

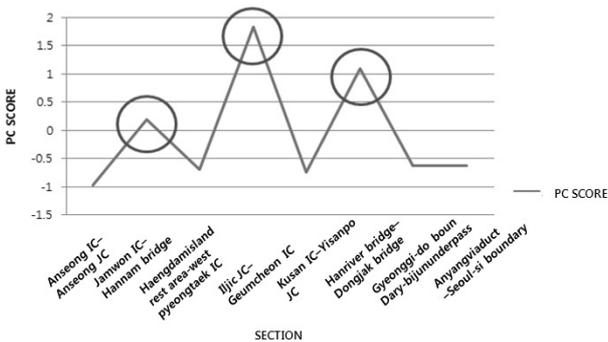


Fig. 4. The Second PC Scores

## 5. 결과분석

주성분분석을 이용한 수도권내 간선도로 위치별 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량 비교를 통해 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 주성분 분석을 통하여 분석결과 제 1주성분과 제 2주성분, 2개의 주성분으로 성분이 분류되어 그룹화 되는 것을 알 수 있었다.

제 1주성분의 경우 교통량이 적은 새벽 시간대로 주성분을 설명할 수 있었다. 제 2주성분의 경우 교통량이 많은 오전,오후 첨두시 시간대로 주성분을 설명할 수 있었다.

따라서, 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량의 경우 시간대에 따라 다르게 배출되며 특히 자유속도로 주행할 경우와 정체가 극심할 경우의 통행속도 차이에 따라 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량도 차이가 나는 것을 그룹화된 주성분의 특성을 통해 알 수 있었다.

둘째, 주성분 점수를 산출하여 비교한 결과 제 1주성분의 경우 잠원 IC~한남대교 구간이 2.22점으로 다른 구간에 비해 높은 점수가 산출된 것을 알 수 있었다.

제 1 주성분의 경우 교통량이 적은 자유속도로 주행하는 시간대의 변수들이 그룹화된 특징이 있다. 이러한 특징을 토대로 살펴볼때, 잠원IC~한남대교 구간은 타 구간에 비해 교통량이 적은 시간대라고 할 수 있는 새벽이나 오후 시간대에도 계속해서 정체현상이 발생하고 있어 차량 당 CO<sub>2</sub>가 다량 배출되는 구간임을 알 수 있다.

제 2 주성분의 경우 교통량이 많은 정체현상이 발생하는 시간대의 변수들이 그룹화된 특징이 있다. 주성분 점수가 높게 산출된 구간은 잠원IC~한남대교, 일직JC~금천IC, 한강대교~동작대교 구간임을 알 수 있었다. 공통적으로 서울시 접속부와의 이격이 가까운 구간으로서 특히 오전, 오후 첨두시에 극심한 정체현상으로 인하여 통행속도가 매우 낮다는 특징이 있는 구간이다. 따라서, 제 2주성분에서도 타 구간에 비해 차량 당 CO<sub>2</sub>가 다량 배출되는 구간에서 주성분 점수가 높게 산출되는 것을 알 수 있었다.

## 6. 결론

수도권내 간선도로 위치별 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량을 주성분 분석한 결과 시간대가 각 주성분을 설명할 수 있는 주요 성분임을 알 수 있었다. 그리고 주성분별로 특징을 살펴본 결과 제 1주성분의 경우 새벽 시간대와 오후 시간대로 주성분을 설명할 수 있으며 22시가 대표시간으로 나타났다. 제 2주성분의 경우 오전,오후 첨두시 시간대로 주성분을 설명할 수 있으며 18시가 대표시간으로 나타났다. 주성분점수를 산출하여 비교한 결과는 제 1,2 주성분 모두에서 타 구간에 비해 CO<sub>2</sub>가 다량 배출되는 구간에서 주성분 점수가 높게 산출되는 것을 알 수 있었다.

위의 결론들을 통해 추론해 보았을 때 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출량의 경우 시간대가 주요한 성분임을 알 수 있었다. 그리고 주성분 점수를 통하여 차량 당 CO<sub>2</sub> 배출 다량구간을 판별할 수 있었다.

구체적으로 속도와 이와 관련된 CO<sub>2</sub> 배출량 곡선에 단순하게 판별하던 CO<sub>2</sub> 다량 배출구간에 대하여 시간과 공간을 기준으로 한 속도 분포를 이용하여 그루핑할 수 있는 방법론의 적용가능성이 있음이 증명되었다.

따라서 도로의 구간별 시간별 특성을 이용하여 CO<sub>2</sub> 다량 배출구간을 등급화 할 수 있게 되었다.

### 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학재단의 연구지원프로그램으로 지원받았습니다(연구과제 관리코드 : 2013 R1A1A2012547).

### 알림

“제66회 대한교통학회 학술발표회”에서 발표된 프로시딩을 수정하여 편집하였습니다.

### References

Alessandra, C. (2002). *Modeling traffic flow emissions*, Degree of Master of Science in Transportation, Massachusetts institute of Technology (in Italian).

Barrth, M. and Kanok, B. (2009). *Traffic congestion and greenhouse gases*, Research Report, Transportation Research at the University of California, Access 35, 2-9.

Ericsson, E., Sturm, P. and Minarik, S. (2001). “Driving pattern, exhaust emission and fuel consumption over a street network.” *Proceedings of 11th interational symposium*. Vol. 1, pp. 331-340 (in Austrian).

Haworth, N. and Symmons, M. (2001). *The relationship between fuel economy and safety outcomes*, Report No. 188, Monash University accident research center, Australia (in Australian).

Hesham, R., Ahn, K. H., Ihan, E. S. and Jang, S. B. (2003). “Emission model development using in-vehicle on-road emission measurements.”

Jung, S. J., Kim, T. H. and Kim, Y. S., (2010). “Risk evaluation of slope using principal component analysis(PCA).” *Journal of Korean Geotechnical Society* Vol. 26, No. 10, pp. 69-79 (in Korean).

Kim, Y. I., Chung, J. H. and Kum, K. J. (2004). “A study on characteristics of highway segments for recreational trips using principal analysis.” *Journal of Korean Society of Transportaion* Vol. 22, No. 2, pp. 87-93 (in Korean).

Korean Society of Transportaion (2001). *Korean highway capacity manual*, Korean Society of Transportaion (in Korea).

National of Environmental Research (2001). *An investigation of green house gas emission from automobiles*, Research Report, National of Environmental Research (in Korean).

Shim, M. K. (2010). *A Study on Air Quality Enhancement and CO<sub>2</sub> Reduction with Analyzing Idling Stop of Vehicles*, Ph.D. Dissertation, University of Kangwon, Korea (in Korea).

*Statistics Information by Lines* (2010). <http://gits.gg.go.kr/> (in Korean).