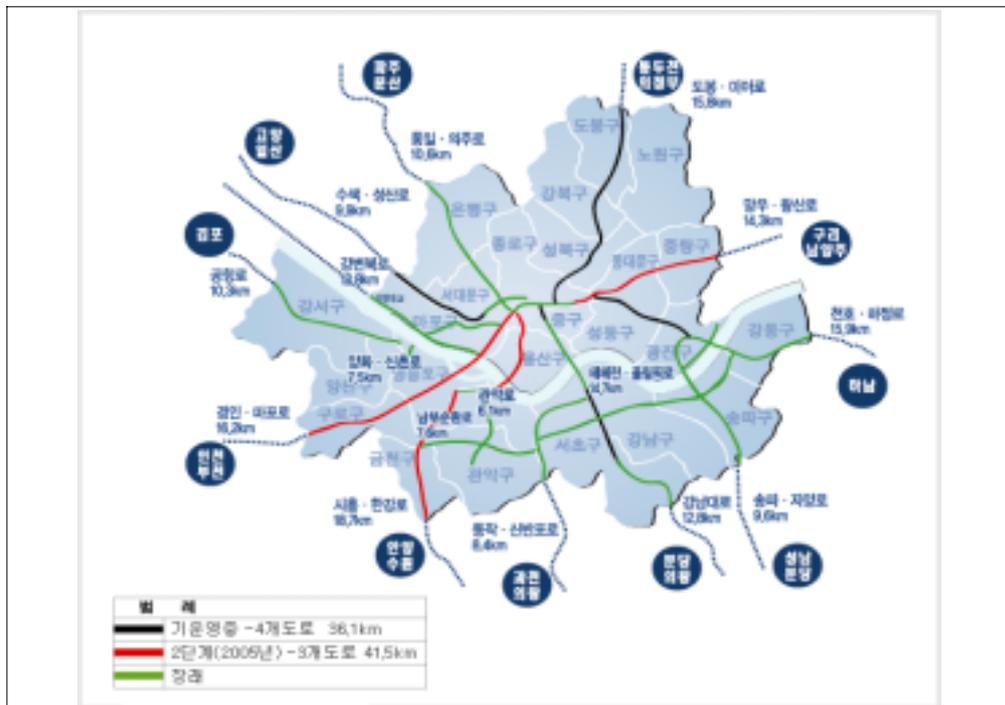


서울시 버스중앙차로제 시행에 따른 환경영향 조사

- | | |
|------------|------------|
| 1. 조사의 필요성 | 3. 조사결과 |
| 2. 조사방법 | 4. 정책적 시사점 |

1. 조사의 필요성

- 서울시는 현재 도봉·미아로(15.8km), 수색·성산로(9.9km), 망우·왕산로(10.4km), 시흥·한강로(14.9km), 경인·마포로(16.2km)등 총 연장 77.6km의 버스중앙차로를 운영하고 있음. 이에 더해 2006년도 이후 동작·신반포로(8.4km), 통일·의주로(10.6km), 강변북로(12.8km), 송파·자양로(9.6km) 등 총연장 92.4km의 버스중앙차로의 신설을 계획 중임.



출처 : 서울시홈페이지, <http://www.seoul.go.kr>

[그림 1] 버스중앙차로제 시행구간 및 향후 계획구간

- 버스중앙차로제(BRT : Bus Rapid Transit)¹⁾ 실시로 도로의 중앙에서 일부 버스타승자의 승하차 행위가 일어나고 탑승을 위해 대기하게 되어 버스이용자가 대기오염에 많이 노출될 우려가 있음. 반면 버스의 주행이 중앙으로 이동하면서 가로변 대기질의 변화가 예상됨.
- 본 연구는 버스중앙차로제 시행구간과 미시행구간의 도로 중앙부와 가로변의 대기환경을 조사하여 제도시행에 따른 대기영향을 평가하고자 함.

2. 조사 방법

○ 측정항목

- 버스중앙차로제 시행에 따른 대기환경의 변화를 파악하기 위해 대기 오염물질 중 입자상 물질(PM-10)과 가스상 물질(NO₂, CO)을 선정하여 그 영향을 조사하였으며, 소음영향(5분간 등가소음도)을 추가적으로 파악하였음.
- 조사시기에 버스통행량, 보행자수, 버스이용객수도 같이 조사하였음.

○ 측정방법

- 대기오염물질인 NO₂(이산화질소)와 CO(일산화탄소)의 분석용 시료를 채취하기 위해 용기포집방법과 NO₂ BADGE를 이용하였음.
- 용기포집은 채취관 - 유량조절기 - 흡입펌프(1~2L/min) - 용기(공기주머니(Bag))의 순서로 하고 측정시간별로 가로변 및 중앙부에서 동시에 Sampling을 실시하였음. NO₂ BADGE는 가로변 및 중앙부에서 높이 약 2.0m 지점에 1일 동안 동시에 부착하여 Sampling을 실시하였음.
- 풍향, 풍속, 온도 등 기상자료는 미국 Davis Instruments사의 「WEATHER WIZARD 3」를 이용하여 지점별 가로변에서 측정하였음.
- 미세먼지인 PM-10은 β선흡수법 (β-ray측정기)²⁾을 이용하여 가로변 및 중앙부 지상 1.5~2.0m 지점에서 새벽 4시부터 저녁 7시까지 연속하여 동시 측정하였음. 공기주머니

1) BRT(Bus Rapid Transit)는 버스에 철도운영개념을 도입하여 통행속도, 정시성, 수송능력 등을 대폭 향상시킨 대중교통시스템임.
2) 측정원리는 베타선을 방출하는 광원으로부터 조사된 베타선이 여과지 위에 포집된 먼지를 통과할 때 흡수·소멸되는 베타선의 차이로써 농도를 측정하는 것임.

(Bag)로 채취된 NO₂ 시료는 화학발광법³⁾을 이용하여 분석하였으며, NO₂ BADGE는 흡광도법으로 분석하였음. CO는 비분산적외선분석법(NDIR)을 이용하여 분석하였음.

- 소음은 5분간 등가소음도를 가로변 및 중앙부에서 동시에 측정하였으며, 가로변 및 중앙부의 버스교통량과 승객 및 보행자 통행량은 「COLONY COUNTER」를 이용하여 측정시간별로 별도 조사하였음.

<표 1> 측정기기 제원

구 분	장 비 명	제 조 사
기상 측정	WEATHER WIZARD III×1	Davis Instruments, 미국
PM-10 측정	β-ray측정기(FH62-1)×2	CSM, 독일
NO ₂ 분석 (Air Bag 시료)	EC9841(화학발광법)	ECOTECH, 미국
NO ₂ 분석 (Badge 시료)	UV-MINI1240(흡광도법)	SHIMADZU, 일본
CO 분석	NDIR CO Analyze(NDIR)	HORIBA, 일본
가스상물질 Sampling (CO, NO ₂)	AIR BAG(25L)×12	-
흡인펌프	DIAPHRAGM PUMP(MP-1)×2	KIMOTO, 일본
NO ₂ 추가 Sampling	FILTER BADGE NO ₂ ×6	TOYO, 일본
승객량, 보행자, 버스통행량 조사	COLONY COUNTER×4	MILLY WAY, 태국
사진 촬영	C-730 U×1	OLYMPUS, 일본
발전기	EU20i×2	HONDA, 일본

○ 조사지역

- 버스중앙차로제 미시행 구간인 양재꽃시장(A-1)과 버스중앙차로제 시행 구간인 양재역(A-2)의 중앙부 및 가로변에서 조사를 실시하였으며, 도심 도로변에서의 대기질 농도 분포현황을 파악하기 위하여 강남역(A-3)을 추가 조사하였음.

○ 측정일시

- 측정일시는 기상여건(맑은날, 풍속 2.0m/sec 이하)을 고려하여 선택하되 교통소통이 원활한 평일(월~수요일)을 선정하였음. 교통량의 영향을 감안하여 이를 피크시간대⁴⁾와 소통원활시⁵⁾로 구분하여 조사를 실시하였음.

3) 공기를 수산화나트륨용액에 흡수시키면 대기중의 이산화질소는 아질산나트륨용액으로 변하며 이때 생성된 아질산이온을 발색시약 인산살퍼닐아미드와 나프틸에틸렌디아민이염산염으로 발색시키고 이를 540nm의 흡광도에서 측정하는 것임.

4) 출·퇴근시로 오전 8시~9시와 저녁 6시~7시

5) 오후 12시~1시

- 2004년 12월 13일부터 12월 15일까지 A-1지점부터 A-3지점까지 차례로 조사하였으며, 12월 15일에는 아침출근시간에 추가조사를 실시하였음.



[그림 2] 환경영향 조사지점도

3. 조사 결과

○ 기상 및 소음

- 국지기상 조사결과 풍속은 0.2~1.0m/sec, 기온은 0.8~12.0℃ 이었음. 풍향은 지점별, 시간 대별로 변화가 커 국지적인 대기환경 변화에 큰 영향을 주는 것으로 조사됨.
- 소음도는 A-1지점(양재꽃시장)과 A-2지점(양재역)에서 73~79dB(A)로 비슷한 수준으로 조사되었으나, 전 조사지점에서 환경기준(도로변 “다”지역 70dB(A)이하)을 초과하는 것으로 나타나 높은 소음환경에 가로변의 보행자 및 중앙부 버스 이용객이 노출되어 있는 것으로 보여짐.

<표 2> 소음환경기준

(단위 : Leq dB(A))

지역 구분	적용 대상 지역	기 준	
		낮 (06:00-22:00)	밤(22:00-06:00)
도로변 지역	"가" 및 "나" 지역	65	55
	"다" 지역	70	60
	"라" 지역	75	70

비고 : 1. 지역구분별 적용대상지역의 구분은 다음과 같음.

가. "가"지역

- (1) 국토의계획및이용에관한법률 제36조제1항의 규정에 의한 관리지역중 보전 관리지역과 자연환경보전지역 및 농림지역
- (2) 국토의계획및이용에관한법률 제36조제1항의 규정에 의한 도시지역중 녹지 지역
- (3) 국토의계획및이용에관한법률시행령 제30조의 규정에 의한 주거지역 중 전용주거지역
- (4) 의료법 제3조의 규정에 의한 종합병원의 부지경계로부터 50미터 이내의 지역
- (5) 초·중등교육법 제2조 및 고등교육법 제2조의 규정에 의한 학교의 부지경계로부터 50미터 이내의 지역
- (6) 도서관및독서진흥법 제2조의 규정에 의한 공공도서관의 부지경계로부터 50미터 이내의 지역

나. "나"지역

- (1) 국토의계획및이용에관한법률 제36조제1항의 규정에 의한 관리지역 중 생산관리지역
- (2) 국토의계획및이용에관한법률시행령 제30조의 규정에 의한 주거지역 중 일반주거지역 및 준주거지역

다. "다"지역

- (1) 국토의계획및이용에관한법률 제36조제1항의 규정에 의한 도시지역중 상업 지역과 동조동향의 규정에 의한 관리지역중 계획관리지역
- (2) 국토의계획및이용에관한법률시행령 제30조의 규정에 의한 공업지역 중 준공업지역

라. "라"지역

국토의계획및이용에관한법률시행령 제30조의 규정에 의한 공업지역중 일반공업지역 및 전용공업지역

2. 도로라 함은 1종렬의 자동차(2륜자동차를 제외한다)가 안전하고 원활하게 주행하기 위하여 필요한 일정폭의 차선을 가진 2차선 이상의 도로를 말함.
3. 이 소음환경기준은 항공기소음, 철도소음 및 건설작업 소음에는 적용하지 않음.

<표 3> 기상 및 소음도 측정결과

구 분		A-1 (양재꽃시장)		A-2 (양재역)		A-3 (강남역)		비 고	
		가로변	중앙부	가로변	중앙부	가로변	중앙부		
기상	풍향(풍)	8:00 ~ 9:00	NNW	-	-	NE	-	1시간평균	
		12:00 ~ 13:00	ESE	ESE	-	-	-		
		18:00 ~ 19:00	WNW	SSE	-	-	-		
	풍속(m/sec)	8:00 ~ 9:00	0.4	-	0.97	-	-		-
		12:00 ~ 13:00	0.6	1.0	-	-	-		
		18:00 ~ 19:00	0.3	0.2	-	-	-		
	온도(℃)	8:00 ~ 9:00	0.8	-	6.0	-	-		-
		12:00 ~ 13:00	9.7	12.0	-	-	-		
		18:00 ~ 19:00	2.7	8.6	-	-	-		
소음	Leq5(dB(A))	8:00 ~ 9:00	76	76	77	78	75	79	5분간 등가소음도
		12:00 ~ 13:00	76	79	76	79	-	-	
		18:00 ~ 19:00	73	79	76	77	-	-	

○ 통행량 및 대기질 조사결과

- 버스중앙차로제 미시행구간(A-1지점)에서의 버스 통행량은 편측차선 통행량이며, 버스중앙차로제 시행구간 (A-2,3지점)에서의 버스 통행량 중 가로변은 중앙차로를 제외한 편도 교통량, 중앙부는 중앙차로 편도 교통량임. 조사지점에서의 왕복교통량 조사에 어려움이 커 대형, 특히 버스 통행량에 대한 결과만을 제시하였음. A-1지점(양재꽃시장)의 중앙부 보행자수는 버스중앙차로제 미시행 구간으로 횡단보도상의 통행인을 제시하였음.

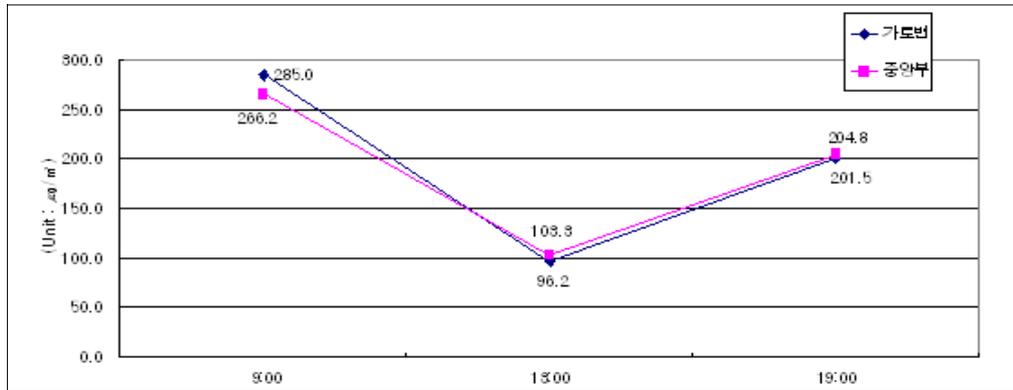
<표 4> 통행량 및 대기질 측정결과

구 분		시간	A-1 (양재꽃시장)		A-2 (양재역)		A-3 (강남역)		비 고
			가로변	중앙부	가로변	중앙부	가로변	중앙부	
통행량	상행 ⁶⁾ (대)	8:00~9:00	354	-	127	211	119	170	버스 통행량
		12:00~13:00	216	-	121	190			
		18:00~19:00	206	-	91	159			
	하행 ⁷⁾ (대)	8:00~9:00	192	-	-	396	-	389	
		12:00~13:00	271	-	-	326	-		
		18:00~19:00	229	-	-	277	-		
	보행자(인)	8:00~9:00	694	316	1,196	-	1,727	-	
		12:00~13:00	113	87	341	-		-	
		18:00~19:00	169	237	928	-		-	
	승객(인)	8:00~9:00	761	-	-	1,128	-	1,073	
		12:00~13:00	73	-	-	395	-		
		18:00~19:00	83	-	-	805	-		
대기질	PM-10(ug/m ³)	8:00~9:00	285.0	266.2	597.7	326.0	142.3	168.2	1시간 평균
		12:00~13:00	96.2	103.3	181.7	191.0	-	-	
		18:00~19:00	201.5	204.8	304.2	254.2	-	-	
	NO ₂ (ppm)	12:00~13:00	0.141	0.054	0.050	0.198			1시간 평균
		18:00~19:00	0.111	0.107	0.068	0.404			
		NO ₂ Badge	0.038	0.042	0.034	0.057			1일평균
	CO(ppm)	12:00~13:00	0.3	0.1	1.2	2.7			1시간 평균
		18:00~19:00	1.1	1.2	2.6	5.0			

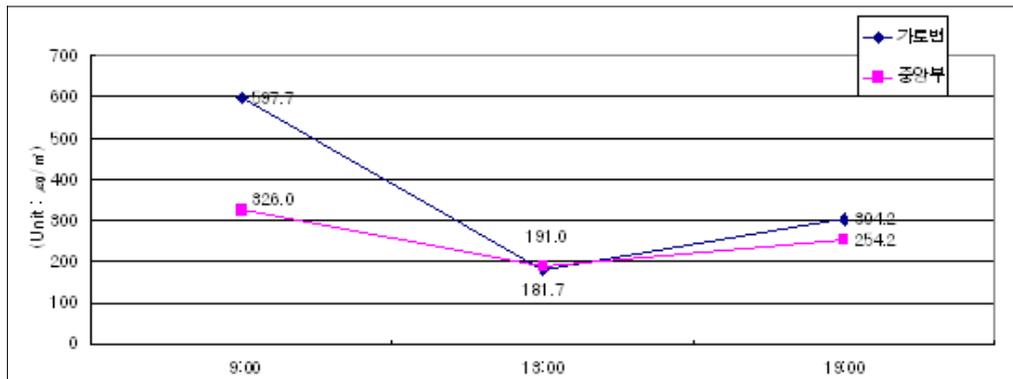
6) 통행량 중 상행은 양재꽃시장 → 양재역 → 강남역을 나타냄.

7) 통행량 중 하행은 강남역 → 양재역 → 양재꽃시장을 나타냄.

- 대기오염물질별 측정결과의 비교내용은 (그림 3)~(그림 8)과 같음.



[그림 3] PM-10 측정결과(A-1)



[그림 4] PM-10 측정결과(A-2)

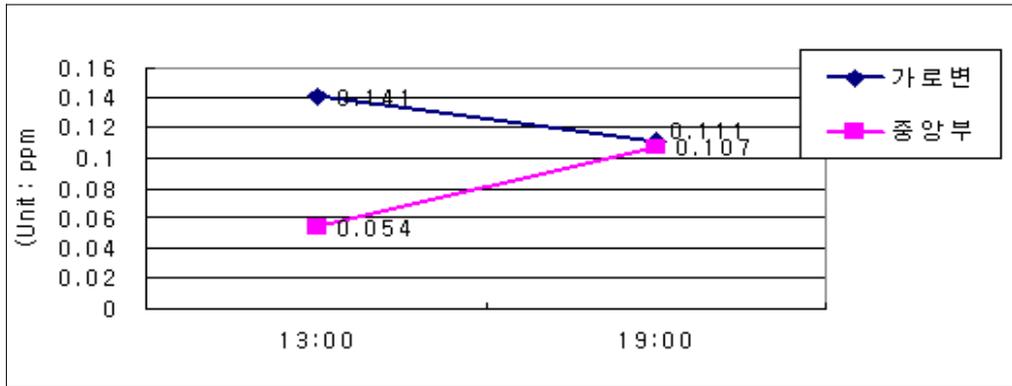
<표 5> 대기환경기준

항 목	기 준 ⁸⁾
미세먼지 ⁹⁾ (PM-10)	<ul style="list-style-type: none"> 연간평균치 $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 24시간평균치 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
이산화질소 (NO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> 연간평균치 0.05ppm이하 24시간평균치 0.08ppm이하 1시간평균치 0.15ppm이하
일산화탄소 (CO)	<ul style="list-style-type: none"> 8시간평균치 9ppm이하 1시간평균치 25ppm이하

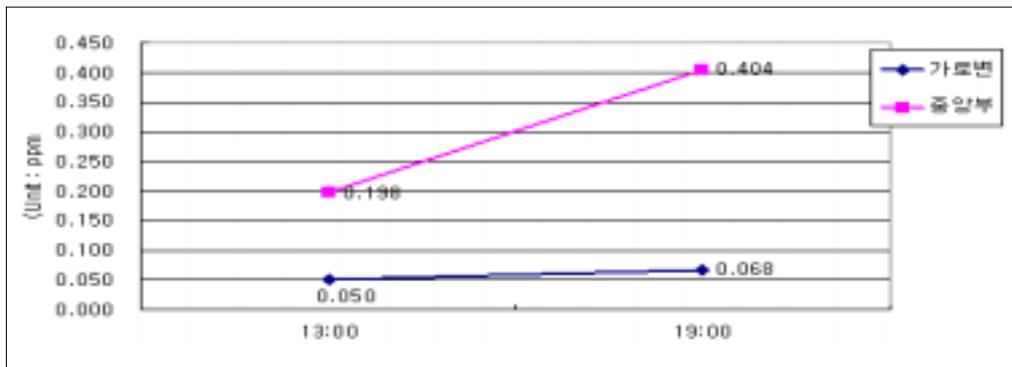
8) 1시간 평균치는 999천분위수(天分位數)의 값이 그 기준을 초과하여서는 아니되고, 8시간 및 24시간 평균치는 99백분위수의 값이 그 기준을 초과하여서는 아니됨.

9) 미세먼지는 입자의 크기가 $10\mu\text{m}$ 이하인 먼지를 말함.

- PM-10의 경우 전 지점에서 각 시간대별로 96.2~597.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 대기환경기준(24시간 평균치 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하)을 대부분 초과하는 것으로 조사되었으며, 특히 출근시간대(266.2~597.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 및 퇴근시간대 (201.5~304.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 높게 나타났음. 지점별로는 가로변 및 중앙부 모두 A-2지점(양재역)에서 높은 농도값을 보였음.

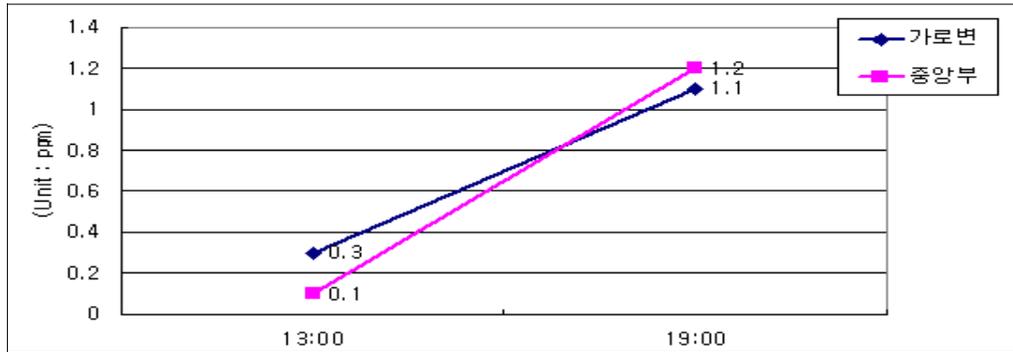


[그림 5] NO₂ 측정결과(A-1)

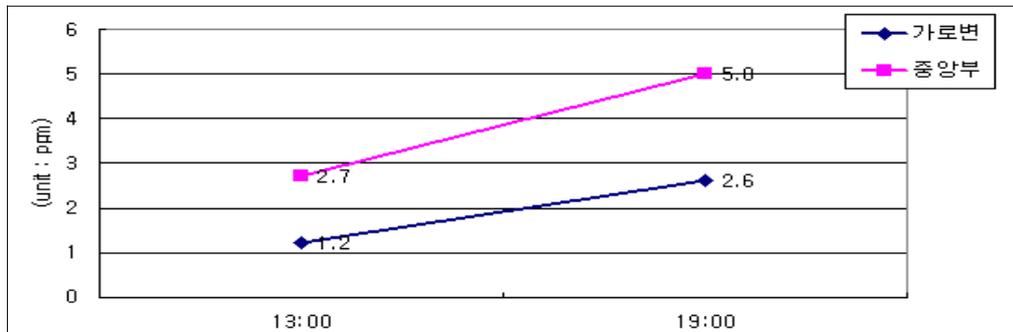


[그림 6] NO₂ 측정결과(A-2)

- 이산화질소(NO₂)의 경우 점심시간(12:00~13:00)에 비해 퇴근시간(18:00~19:00)에 비교적 높은 농도값을 보이고 있으며, 가로변에서의 농도는 A-2지점(양재역)에서 오히려 낮은 수준 (점심 시간에 A1: 0.141ppm > A2: 0.050ppm, 퇴근시간에 A1: 0.111ppm > A2: 0.068ppm)으로 조사되었음. 중앙부에서는 반대로 A-2지점에서 높은 농도값(점심시간에 A1: 0.054ppm < A2: 0.198ppm, 퇴근시간에 A1: 0.107ppm < A2: 0.404ppm)을 보였음.



[그림 7] CO 측정결과(A-1)



[그림 8] CO 측정결과(A-2)

- 일산화탄소(CO)는 A-2지점의 가로변 및 중앙부에서 모두 높은 농도값을 보이고 있음. 지점 별로 살펴보면 A-1지점의 가로변 및 중앙부의 농도값은 비슷한 수준을 보이고 있으나 A-2 지점(양재역)에서는 가로변보다 중앙부에서 농도값이 높게 나타났음.

4. 정책적 시사점

- 버스중앙차로제 시행구간(A-2)과 미시행구간(A-1)을 비교하여 환경영향을 조사한 결과, 버스중앙차로제 시행구간인 A-2지점(양재역)에서 가스상 대기오염물질(NO₂, CO)의 경우 가로변보다 중앙부(버스통행구간)에서 농도가 높게 나타났으며, NO₂의 경우에는 대기환경기준을 초과하고 있는 것으로 조사되었음.

<표 6> 버스중앙차로제 시행구간인 양재역(A-2 지점) 가로의 대기오염물질농도

구 분	1시간 평균 최대농도	환경기준 초과수준	환경기준	비 고
PM-10 (미세먼지)	597.7ug/m ³	4.0배	24시간 평균치 150ug/m ³ 이하	A-2 양재역 가로변
NO ₂ (이산화질소)	0.404ppm	5.1배 2.7배	24시간 평균치 0.08ppm이하 1시간 평균치 0.15ppm이하	A-2 양재역 중앙부

- 입자상 물질인 PM-10의 경우는 조사지역별로 농도의 수준 차가 상당히 큰 것으로 나타나 제도시행에 대한 변화를 추정하기에 미흡하여 이에 따른 추가적인 조사가 필요함. 향후, 버스중앙차로제 사업계획에 의한 대기환경 변화를 파악하기 위하여 시행구간별 사전 및 사후조사를 시행하여야 할 것으로 판단됨.
- 본 조사결과와 국립환경연구원의 도로변 대기오염 조사자료¹⁰⁾를 비교해 보면, 도로변지역의 경우 피크시간대와 소동이 원활한 시간대의 변화폭이 크게 나타나 현재 환경기준으로 제시되는 평균 개념의 농도관리가 아닌 피크농도 관리가 필요함.
- 국립환경연구원에서 운영하는 측정망의 경우, 측정점 높이(지상 3~10m, 상시측정망)에서의 농도가 본 조사의 오염물질 농도 측정시 적용한 도로이용자 호흡 위치인 1.5m~2.0m에서의 농도와 차이가 큰 것으로 나타나 향후, 도로변지역 측정망 운영 시 호흡높이에서의 측정과 도로단이 아닌 보도상에서의 대기오염물질 농도수준의 파악이 필요함.
- 버스중앙차로제 시행구간에서 버스대기 승객의 대기오염물질 노출에 대한 대책이 강구되어야 함. 본 조사연구와 국립환경연구원 조사자료 등에 의하면 도로변에서 도로 이용자의 대기오염물질 노출이 상당한 수준인 것으로 나타나 도로 중앙부에서의 대기오염물질의 노출 차단방안(이층 대합실 마련 등), 도로의 대기오염물질 저감방안(도로변 물청소 등) 도입, 도로변지역 대기오염측정망 설치를 통한 관리방안 등의 검토가 이루어져야 할 것으로 판단됨.

김형철 | 경원대 교수
031-750-5277
hyungkim@kyungwon.ac.kr

10) 국립환경연구원의 도로변 대기오염 자동측정망 자료(신사동 측정소<신사로터리 동화은행 앞> 및 도곡동 측정소<강남구 도곡2동 429> 자료)를 말함.