

연속류 차량군 분류기준 정립 및 분석모형 개발

The Development of Criteria on Vehicle Platoon Formation and Analyzing Model Under Free Flow Condition

이 기 영

한국도로공사 도로교통연구원
책임연구원

김 태 호

한국도로공사 도로교통연구원
박사후 연수과정

이 용 택

대한민국 감사원 감사관

Key Words : Vehicle Platoon, Headway, Vehicle Speed, CART Analysis, Discriminant Analysis

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위
 - 3. 연구의 내용 및 과정
 - II. 선행연구 고찰
 - 1. 차량흐름에 대한 기본정의 및 가정
 - 2. 차량군 형성 관련 선행연구 고찰
 - III. 자료수집 및 차량군 설정기준 분석결과
 - 1. 자료수집
 - 2. 차량군 형성기준 설정 및 검증
 - IV. 사례연구를 통한 차량군 모형검증
 - 1. 사례연구 개요
 - 2. 사례연구를 통한 검증결과
 - V. 결론 및 향후연구과제
- 참고문헌

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

국내 자동차 수요의 폭발적 증가에 대한 해결책으로 도로 건설과 같은 공급위주의 교통정책을 시도하여왔다. 그러나 공급위주의 교통정책으로는 증가하는 자동차수요에 대한 해결책이 되지 못한다는 것을 알게 되었다. 이러한 사회적 인식에 발맞추어 정부는 건설위주의 공급정책에서 운영 및 관리 측면의 정책에 관심을 기울이게 되었다. 이와 같은 사회적반적인 문제점을 해결하기 위한 방안으로 첨단기술을 교통에 접목시킨 ITS(Intelligent Transportation System)에 대한 관심이 높아지고 있다. ITS와 같은 운영 측면의 교통정책을 현실에 적용하기 위해서는 교통의 흐름(Traffic Flow)과 운전자의 행태측면(Driver Behavior)에 대한 연구를 바탕으로 현실성을 높여야 하며, 그 대표적인 연구가 도로를 주행하는 차량의 형태에 대한 연구이다. 다

시 말하면, 차량의 주행특성인 'Free vehicle'과 'Following vehicle'의 차이점에 대한 정확한 분석이 매우 시급하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 연속류 도로구간의 검지기 자료를 이용하여 차량의 다양한 교통류특성을 분석함으로써 'Free vehicle'과 'Following vehicle'을 구분할 수 있는 영향인자(속도, 차간거리, 차두시간 등) 규명과 차량군 형성을 판별해 줄 수 있는 판별모형(Vehicle Platoon Discriminant Model : VPDM)을 개발하여 실질적인 사례연구를 진행하는 것이 목적이다.

2. 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 자유로 신평I/C~이산포I/C 구간(10.7km, 본선차로 검지자료)이며, 차로는 왕복 6~10차로의 연속류를 대상으로 선정하였으며, 자세한 분석구간이 도로현황은 다음 그림 1과 같다.



<그림 1> 분석구간의 도로현황

II. 선행연구고찰

1. 차량흐름에 대한 기본정의 및 가정

차량의 흐름안 교통의 흐름은 크게 연속류, 단속류로 구분되어진다. 연속류는 고속도로와 같이 연속적인 교통흐름을 가지는 것이고, 단속류는 신호 교차로와 같이 신호 및 기타여건에 의해 제약을 받는 교통흐름을 의미한다. 이러한 흐름을 분석하기 위해 속도, 교통량, 밀도의 세 가지 변수가 사용되었으며, 대표적인 학자인 미국의 Haight는 다음과 같은 특성을 제시하였다.1)

- 모호성: 운전자들은 도로 자체상황, 다른 운전자의 주행상태(충돌회피, 속도변화, 타 차량위치 파악 등)에 영향을 받는다. 따라서 운전자들의 움직임을 정확히 예측하기는 매우 힘들다.
- 한계성: 차량의 크기, 도로의 기하구조, 교통상황(혼잡)을 고려할 때 운전자들이 주의하여 주행하지 않으면 다른 차량과 충돌할 가능성이 있다.
- 시간-공간성: 도로상을 주행하는 차량의 속도는 계속해서 변화하기 때문에 차량의 위치 또한 끊임없이 변한다.

3. 연구의 내용 및 과정

본 연구의 전반적인 진행방향은 다음의 그림 2와 같으며, 세부적인 진행과정은 5단계로 구분할 수 있다.

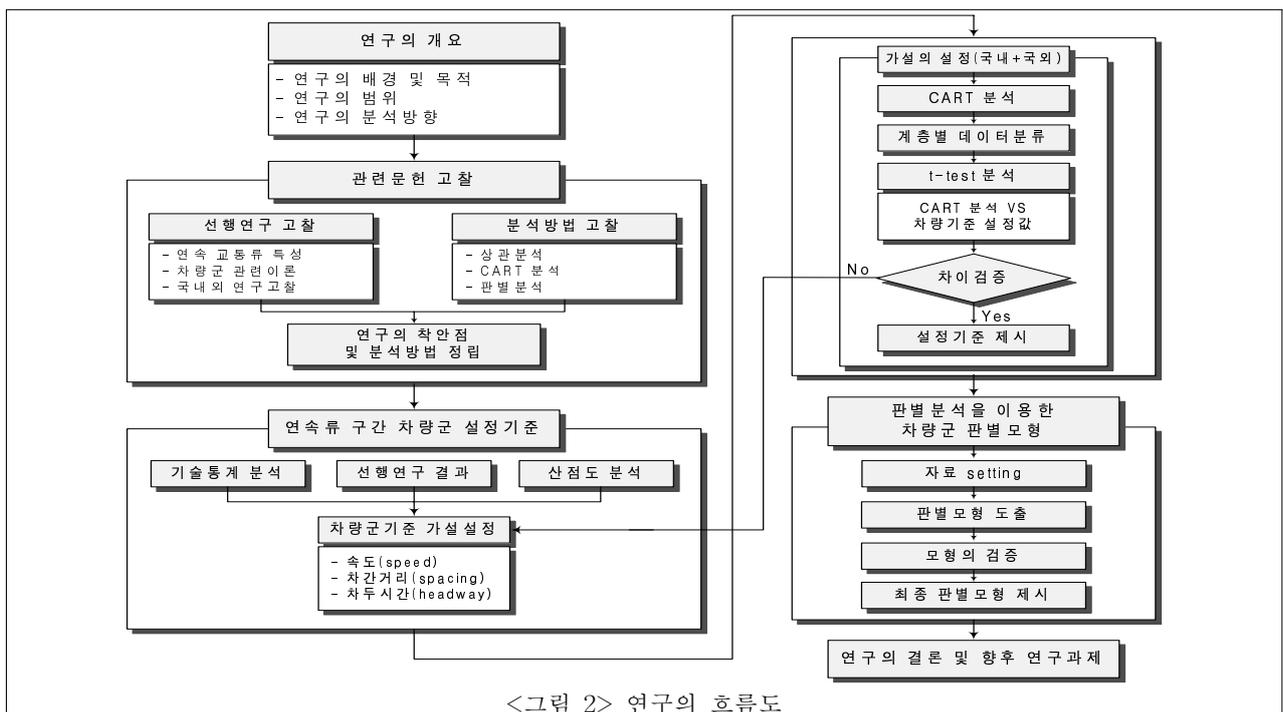
첫째, 차량군(Platoon) 관련 정의를 고찰하여 'Free vehicle'과 'Following vehicle'의 의미를 정의한다.

둘째, 국내·외의 차량군(Platoon) 형성기준 관련 선행연구를 바탕으로 가설을 설정한다.

셋째, 선행연구의 차량군 형성기준을 기본가설로 설정하여 기술 통계분석(Descriptive-Analysis), 산점도(Scatter-Diagram), 의사결정나무법(CART), 집단검증(t-test)분석을 수행하여 차량군 형성기준을 확립한다.

넷째, 정립된 차량군 형성기준을 반영한 판별모형을 개발하고, 사례연구(Case Study)를 통해 실질적인 모형의 적용성을 평가한다.

다섯째, 연구의 결론을 종합하고 향후 연구 과제를 제시한다.



<그림 2> 연구의 흐름도

2. 차량군 형성 관련 선행연구 고찰

차량군에 대한 선행연구는 차량군 형성에 초점을 맞춘 연구보다는 도로안전성평가 연구의 기초분석 차원에서 진행 중인 것이 대부분이다. 또한, 연구대상은 주로 차량간의 반응시간과 차량 주행에 영향을 미치는 요인에 관한 연구로 이루어지고 있다.

Evans and Wasielewski(1983)의 연구는 고도로를 주행하는 차량의 운전자가 반응하는 인지-반응 시간에 대한 연구를 수행하였으며, 분석결과 2.5(sec)인 것으로 나타났다. 고속도로상의 차량 흐름의 형태는 포아송 분포이며, 'Free vehicle'의 경우는 지수분포를 따른다는 결론을 도출하였다.

Pasanen and Salmivara(1993)의 연구에서는 'Free vehicle'과 'Following vehicle'의 정의와 함께, 'Free vehicle'인 차량이 보행자사고를 유발할 확률이 높다는 결론을 도출하였다.

최재성(1999)의 연구에서는 도로안전성평가를 위해 'Free vehicle'과 'Following vehicle'의 정의를 시도하였으며, Normann이 제시한 차두간격이 9~10(sec)일 때 주행차량이 선행 차량에 의해 영향을 받지 않음을 확인하였다.

하태준(2002)의 연구에서도 도로안전성평가를 위해 'Free vehicle'과 'Following vehicle'의 정의를 시도하였으며, 차두간격이 6(sec) 이하 일 때 주행차량이 선행 차량에 의해 영향을 받지 않음을 확인하였다.

Katja Vogel(2002)의 연구에서는 단독차량(Free vehicle)의 특징을 파악하기 위해 앞차와 뒷 차량의 상관관계 분석을 시도하였다. 분석결과, 차두간격이 약 6(sec)를 기준으로 'Free vehicle'과 'Following vehicle'로 구분되어지는 것으로 나타났다.

김태완(2004)의 연구에서는 조사된 차량군의 차두간격이 1.7~2.94(sec)사이의 값을 갖는다고 결론 내렸다. 선행연구고찰을 바탕으로 'Free vehicle'과 'Following vehicle' 형성 요인에 대한 특징들을 정리하면, 다음과 같다.

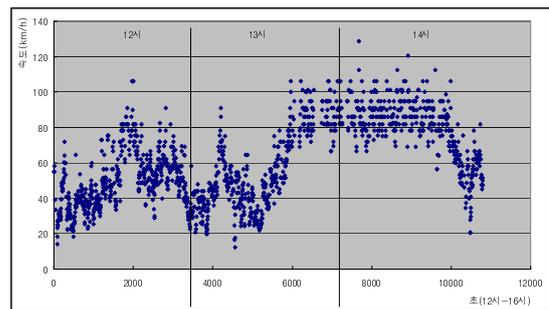
첫째, 차량군의 형성기준은 대부분 차두간격에 의해 결정되고 있음을 알 수 있다.

둘째, 차두간격을 바탕으로 운전자의 안전거리를 확보하기 위한 부수적인 연구가 대부분이며, 차량군 형성을 판단할 수 있는 모형개발 연구가 미흡하다.

III. 자료수집 및 차량군 설정기준 분석결과

1. 자료수집

본 연구에서 사용한 자료는 자유로 1차로에 설치된 루프검지기에서 24시간 검지되어진 자료를 기초 자료로 검지기자료에서 12:00시~14:00의 자료 중 외적요인에 의하여 영향을 받지 않은 것으로 판단되어지는 1시간(13:30분~14:30분) 자료를 이용하여 분석하였다.



<그림 3> 차량속도 분포 Graph

2. 차량군 형성기준 설정 및 검증

1) 기초통계분석

기초통계분석을 수행하였으며, 분석결과(<표 1>) 차량속도의 분포는 12~129km/h인 것으로 나타났으며, 평균통행 속도는 약 60km/h이며, 차량간의 평균 Headway는 0.08~21.0sec인 것으로 나타났다. 마지막으로 앞차와의 거리는 평균 54.0m인 것으로 나타났다.

<표 1> 분석자료 기술통계 분석 결과

구 분	N	Minimum (최소값)	Maximum (최대값)	Mean (평균값)
차량속도 (m/sec)	1382	4.30	31.93	16.17
Headway (sec)	1382	0.08	21.46	3.31
속도차이 (m/sec)	1382	0.10	19.20	6.32
앞차거리 (m)	1382	1.00	431.00	54.40
차량길이 (m)	1382	1.16	29.35	3.67

<표 2> 상관분석 결과

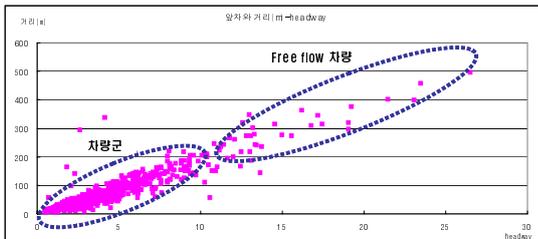
구 분	차량속도 (m/sec)	HEADWAY (sec)	속도차이 (m/sec)	앞차거리 (m)	
차량속도 (m/sec)	Pearson Correlation	1.000	0.162	-0.183	0.290
HEADWAY (sec)	Pearson Correlation	0.162	1.000	-0.039	0.934
속도차이 (m/sec)	Pearson Correlation	-0.183	-0.039	1.000	0.181
앞차거리 (m)	Pearson Correlation	0.290	0.934	0.181	1.000

다중공선성 및 변수들의 상호관계 파악을 위하여 상관 분석을 실시하였으며, 그 결과 차종과 속도와의 상관관계(0.93)를 제외하고는 특별히 독립변수들간의 상관성(다중공선성)은 없는 것으로 나타났다.

2) 차량군의 형성기준 검증

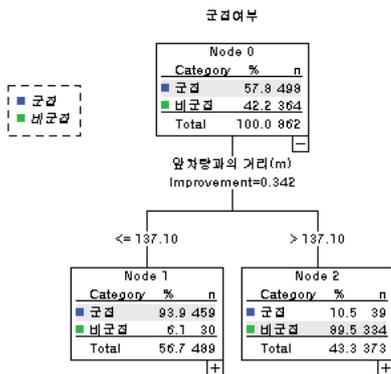
수집되어진 검지기 자료를 통하여 차량 간의 Headway, 속도, 앞차와 거리를 산출하여 산점도, 의사결정나무법(CART), 집단검증(t-test)을 이용하여 관계를 살펴보았다.

첫째, 차간거리와 Headway와의 관계를 살펴본 결과 그림 4와 같으며, 차량의 군집은 차량간 간격이 약 160m내에서 이루어지는 것으로 나타났다. 이때 차량간의 Headway는 약 7.0sec 수준인 것으로 나타났다.



<그림 4> 앞차와 거리(m)-Headway(sec)의 관계 Graph

산점도의 결과를 바탕으로 정확한 차간거리 임계점 (Critical Point)을 찾기 위하여 CART분석을 실시하였으며, 차간거리가 137.1m를 기준으로 차량군 형성 임계점이 도출되었다.



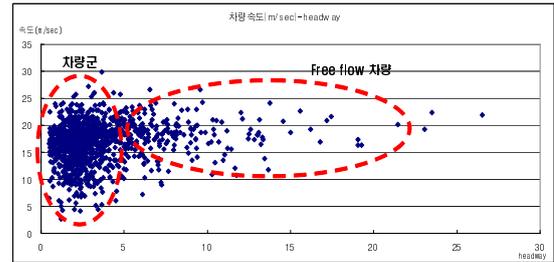
<그림 5> 차간거리 CART분석 결과

임계점을 기준으로 차량군 형성기준에 대한 검증을 실시하였으며, 유의수준 5%이내에서 유의한 것으로 나타났다.

<표 3> 차량거리 Paired t-test 결과

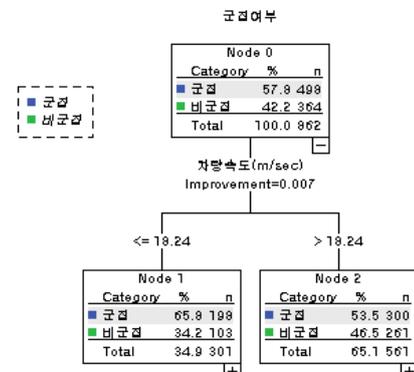
구 분	t	df	Sig.(2-tailed)
차량거리(군집 vs 비군집)	-4.95	363	0.000

둘째, 차량속도와 Headway와의 관계를 살펴보면 그림 5와 같으며, 8.0~23.0m/sec구간에서 차량군이 형성되며 이때 차량 간의 Headway는 약 6.0sec 수준인 것으로 나타났다.



<그림 6> 차량속도(m/sec)-Headway(sec)의 관계 Graph

산점도의 결과를 바탕으로 정확한 차량속도의 임계점 (Critical Point)을 찾기 위하여 CART분석을 실시하였으며, 차량속도가 18.24m/sec를 기준으로 차량군 형성 임계점이 도출되었다.



<그림 7> 차량속도 CART분석 결과

도출된 임계점을 기준으로 차량군 형성기준에 대한 검증을 실시하였으며, 유의수준 5%이내에서 유의한 것으로 나타났다.

<표 4> 차량속도 Paired t-test 결과

구 분	t	df	Sig.(2-tailed)
차량속도(군집 vs 비군집)	-3.60	363	0.00

3) 차량군 형성기준 검증 결과 종합

차량군 형성기준에 대한 분류기준에 대한 결과를 종합하면 다음의 <표 5>와 같다.

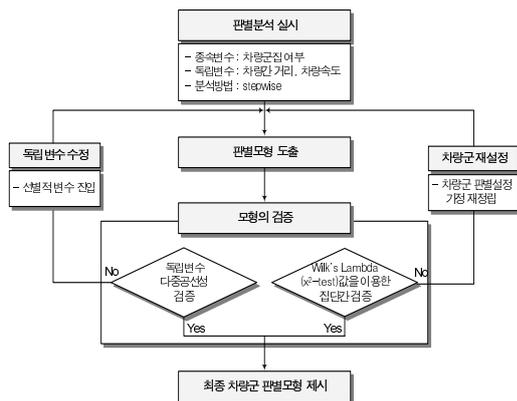
<표 5> 차량군 형성기준 검증결과 종합

No	연구 가설	검증 결과
1	차량군집 기준은 headway 7초이다	타당함
2	차량군집 기준은 차간거리, 차량속도가 타당하다.	타당함
	차간거리 임계치는 160m	차간거리 : 137m
	차량속도 임계치는 23m/sec	차량속도 : 18.24m/sec

차량군 형성기준에 대한 분류기준 검증결과 가설1 "차량의 headway가 7초 이상 일 때 차량은 freeflow 상태이다."라는 가설은 통계적으로 타당한 것으로 나타났다. 하지만, 연구의 가설 2 "차량군 설정항목은 차량간 거리와 차량속도이며, 각각의 임계치는 150m, 23m/sec이다."에서 분석되어진 임계치(137m, 18.24m/sec)는 선행연구의 가설과 다소 차이를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 실증분석을 통한 분류기준을 이용하여 판별모형(Vehicle Platoon Discriminant Model : VPDM)을 개발하였다.

4) 차량군 판별모형식 개발

기술통계분석, 산점도에서 도출된 차량군 판별기준과 판별모형 개발 및 검증방법을 통하여 차량군 판별 모형을 개발한다. 판별모형의 개발 및 검증의 흐름은 <그림 8>과 같다.



<그림 8> 판별분석 모형개발 흐름도

판별분석의 전반적인 개발 흐름을 단계별로 살펴보면 크게 두 가지 단계로 나누어지며 단계별 세부 설명은 다음과 같다.

- Step1 : 모형의 종속변수독립변수와 독립변수를 선정하고 모형의 도출방법에 대한 설정이 필요하다. 본 연구에서는 차량군집여부를 종속변수로, 차량거리와

차량속도는 독립변수로 선정하였으며, 단계별 변수 투입방식(Stepwise Method)을 이용하여 모형을 개발한다.

- Step2 : 도출되어진 판별모형을 독립변수의 다중공산성과 Wilk's Lambda, 정준상관계수(Canonical Correlation)를 이용하여 통계적으로 최적인 모형을 제시한다.

차량군 판별 모형의 통계적 검증을 실시하였으며, 차량속도와 앞차량과의 거리에 대한 집단평균 동질성을 검증하기 위하여 램다값을 제시하였으며 차량속도와 앞차량과의 거리 유의한 것으로 나타났다.

<표 6> 집단평균에 대한 동질성 검정

구 분	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
차량속도(m/sec)	0.993	6.006	1	860	0.014
앞차량과의 거리(m)	0.963	33.444	1	860	0.000

<표 7> 정준판별함수의 값

No	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	0.143	100.0	100.0	0.65

다음으로 <표 7>은 판별모형의 설명력을 나타내는 정준판별함수의 값을 제시하고 있다.

정준상관계값(Canonical Correlation)은 판별점수와 집단들간의 관련정도를 나타내는 것으로 1에 가까울수록 판별 함수의 판별능력이 높다는 것을 의미하며, 본 연구의 판별모형은 0.65로 비교적 판별능력이 높다고 할 수 있다. 표준화된 정준 판별함수계수를 살펴보면 차량속도의 계수값은 0.070으로 도출되었으며, 앞 차량과의 거리는 0.001로 나타나 앞차량과의 거리가 차량속도보다 차량군을 판별함에 있어 더욱 좋은 기준이라 할 수 있으며, 판별모형을 수식화하면 다음과 같다.

$$D = 0.070X_1 + 0.001X_2 - 1.707$$

여기서, D_{score} = 차량군집 분류점수

X_1 = 앞차량과 거리(m)

X_2 = 차량속도(m/sec)

<표 8>은 집단평균에 의해 평가된 정준판별함수의 집단 중심점이 제시되어 있다. 구해진 판별점수가 분류 기준보다 크면 집단 1에 속하고 1보다 작으면 집단 2에 속한다. 비군집의 평균판별점수는 0.242이고 군집의 경우 -0.177로 나타났다. 따라서 0.0325를 기준으로 군집과 비군집으로 구분되어 진다.

<표 8> 정준 판별함수의 계수추정결과

구 분	Function 1
차량속도(m/sec)	0.001
앞차량과 거리(m)	0.070
Constant	-1.707

<표 9> 정준판별함수의 집단 중심점(Centroid)

군집여부	Function 1
비 군 집	0.242
군 집	-0.177

주 1) 두집단의 중심점은 산술평균에 의하여 산출됨.

$$[(0.242) + (-0.177)] / 2 = 0.0325$$

IV. 사례연구를 통한 차량군 모형검증

1. 사례연구 개요

분석대상지점은 앞서 분석한 대상지와 동일한 지점(자유로)을 선택하였으며, 분석시 사용한 자료의 오류를 최소화하기 위하여 수집 대상지점 및 수집시간대를 동일하게 설정하였다. 수집된 자료의 수는 1,220대였으나, 검지기에 의한 오차로 인한 결측치를 제외하고 1,200개의 자료를 이용하였다. 차량군 판별모형을 이용하여 실질적인 적용성을 검토하기 위하여 다음과 같은 가정을 설정하였다.

- 추월, 주변차로 차량으로부터 영향을 받지 않음
- 검지기를 통과시 차량은 등속도로 주행함

<표 10> 차량군 설정기준 적용 Case Study 결과(예시)

No	개수	차량군 내 차량들간의 평균값			군집간의 거리(m)	비 고
		평균속도(m/sec)	Headway(sec)	차량간 평균거리(m)		
1	30	17.86	3.10	59.92		
2	20	18.68	4.45	83.29	375.0	follow
3	35	18.58	3.50	65.90	276.0	follow
4	16	18.30	2.78	55.33	245.9	follow
5	42	18.73	2.98	56.15	243.2	follow
6	2	22.35	5.48	127.78	217.2	free
7	10	19.21	3.11	66.62	317.9	follow
8	8	15.59	3.79	68.69	260.8	follow
9	5	18.81	6.98	126.90	216.6	free
10	30	17.38	3.35	58.48	314.5	follow
20	11	19.81	5.62	109.31	496.5	free
21	7	18.35	4.03	81.32	301.5	follow
30	21	18.18	4.03	73.86	457.2	follow
40	25	18.14	2.45	45.35	211.6	follow
41	275	12.10	3.13	40.45	221.3	follow
총 계	1,200	-	-	-	-	-
평 균	29	18	4	79	281	

2. 사례연구를 통한 검증 결과

실측검증을 위해 차량군의 형태에 따라 분류하여 보면 총 41개로 구분되어져 나타났다. 그중 차량의 대수가 10대 미만의 형태는 'Free vehicle'로 판단하였으며, 그 외 차량형태는 'Following vehicle'로 판단하였다.

실측검증 결과를 예시위주로 <표 10>에 정리하였다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 국내 연속류 주행 차량들의 군집 분류 기준 및 판별모형개발을 시도하였다.

선행 연구에서는 차량의 Headway만을 고려하였으나, 본 연구에서는 속도, 차량간거리를 추가적으로 고려하였으며, 분석결과는 다음과 같다.

첫째, 차량군의 설정기준 분석결과 2가지 부분에서 기준이 설정되었다.

- 18.24m/sec(67.0km/h)이상의 경우 차량의 군집이瓦解되기 시작한다고 볼 수 있다.
- 차량 간 거리로는 약 137m이상의 경우 차량의 군집이瓦解되기 시작한다고 볼 수 있다.

둘째, 주요한 선행연구와 Headway기준으로 비교하였으며, <표 11>에 제시하였다. 국내의 연구들과 약 1,0sec의 차이를 보이는 것으로 나타났다.

<표 11> Headway에 대한 연구결과 비교종합표

선행연구결과 종합		본 연구결과 (Headway)
연구자(연도)	차량군 형성기준	
최재성(1999)	9~10sec	7.0sec
하태준(2002)	6sec	
Katja Vogel(2002)	6sec	

셋째, 차량군 판별모형식을 도출한 결과 다음과 같다. 판별모형의 설명력을 나타내는 정준판별함수의 고유치 값이 0.143이며, 정준상관계값(Canonical Correlation)이 0.65로 비교적 우수한 판별력을 가진 모형이 개발되었다.

$$D = 0.070X_1 + 0.001X_2 - 1.707$$

여기서, D_{score} = 차량군집 분류점수

X_1 = 앞차량과 거리(m)

X_2 = 차량속도(m/sec)

본 연구를 통하여 연속류 차량군 형성에 관한 기초적인 실증연구가 시도되었다고 할 수 있으나, 연구 대상 지역의 확대를 통한 보다 심도 있는 연구가 필요하다고 판단되어 이를 향후 연구과제로 제시한다.

참고문헌

- [1] Evans, L., "Wasielewski, P.(1983), Risk driving related to driver and vehicle characteristics", Accident Analysis and Prevention, 15, 121-136
- [2] Pasanen, E., & Salmivaara, H. "Driving speeds and pedestrian safety in the city of Helsinki". Traffic Engineering and Control, 34, 308 - 10, 1993.
- [3] 최재성, "평면곡선부의 차량속도 및 교통사고 영향 분석 연구", 대한교통학회지 제16권 제4호, 1998.
- [4] Katja Vogel, "What characterizes a Free Vehicle" in an urban area?, Transport Research Part F, 2002.
- [5] 하태준, "지방부 2차로 안전성 평가에 관한 연구", 대한교통학회지 제20권 제1호, 2002.
- [6] 김태완 외, "차간시간 변수를 이용한 교통기본도의 미시적 해석", 대한교통학회지 제22권 제3호, 2004.
- [7] 김태호, 이용택, 도화용, 원체무, "고속도로 유출지점 경로안내용 도로전광표지의 설치위치 산정방안에 관한 연구", 한국도로학회지 제10권 2호, 2008.

주 1 : 참고문헌 [4] p187인용하여 재구성함.