

고속도로 교통류의 차량군집현상에 관한 연구

-차량군의 확률적 구성-

A Study on The Vehicle Platoon Formation in a Freeway

-Probability Position of Platoon Formation-

이 준

(중앙대학교, 도시공학과, 석사과정)

paradani@hanmail.net

정 진 혁

(중앙대학교, 도시공학과, 부교수)

jhchung@cau.ac.kr

목 차

I. 서론

II. 관련 문헌 고찰

III. 모형 구축

1. 차량군의 구성과정

2. 차량군의 확률적 구성

IV. 모형의 평가

1. 차량 평균속도

2. 차량 평균거리

3. 차량 평균 군집 개수

IV. 결론 및 향후과제

참고문헌

I. 서론

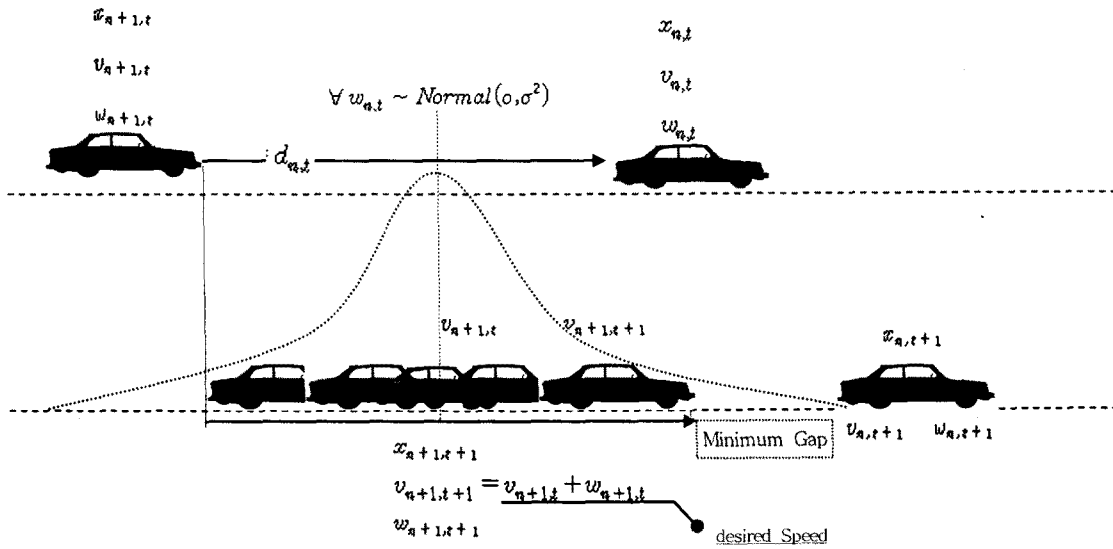
연속 교통류의 차량에 대한 제어와 통제를 하기 위해서는 실제 차량들의 행태를 이해하고 이를 반영할 수 있는 시스템을 구축하고, 기 구축 및 연구된 교통류에 대한 이론들의 종합적인 적용이 필요하며, 이를 통하여 시스템 제어를 해야 할 것이다. 특히, 연속교통류에서 많이 고려되지 않았던 차량군집화 행태 또한 고려되어야 할 중요한 교통류의 특성이라 할 수 있다.

차량군은 한대의 선행 차량(Leading Vehicle)과 이를 따르는 추종차량(Following Vehicle)들로, 차량의 선두차량과 전방 차량군의 마지막 차량간의 거리를 차량군간의 거리(Platoon Length)로, 차량군집의 구성차량들간의 차간거리를 추종 차량들의 간격

(Following Vehicle's Gap)으로 정의된다 (Backstone, Ranney, 1999).

연속 교통류의 행태에 영향을 줄 수 있는 요인들은 매우 다양하며, 차량의 행태를 반영한 다양한 이론들이 있지만, 비제약 교통류의 경우 차량의 흐름 속에서 비반복적, 비정기적으로 발생하는 차량군집과 관련된 연구는 연구가 부족한 실정이다. 차량의 군집화 현상의 발생 과정을 중심으로 연구된 이 준, 정진혁(2006)의 연구는 연구의 시작단계로서 많은 제약조건을 가정하고 있다. 이 모형은 비제약 상황에서 교통류의 군집화현상을 설명할 수 있는 시뮬레이션 방법론의 시도였지만, 현실상황을 설명할 수 있도록 더욱 발전시킬 필요성을 가지고 있다.

본 연구에서는 차량군집화 발생모형(PGM : Platoon Generation Model)의 연산과정에서 제시된 임의효과와 평균속도의 합을 운전자의 회



<그림 1> 차량의 확률적 움직임과 희망속도의 개념도

망속도(Desired Speed)로 가정하며, 이 희망속도는 전방차량에 의하여 제한을 받으면서 차량이 균집되는 과정으로 정의하였다. 운전자의 희망속도는 전방차량에 의하여 제한을 받아 차량 균집이 발생되며, 차량군의 균집 선두차량과 균집 추종차량간의 관계를 차량대수와 시간을 수회 반복하여 관찰하였다.

II. 관련 문헌 고찰

차량군 발생모형의 연구를 통하여 연속류의 균집화 현상의 발생 모형(이 준, 정진혁, 2006)은 다음과 같이 제시하였다. 차량군 생성모형에서는 기존에 연구되어있는 차량군의 거리간격을 수용하여 차량군을 분리하였으며, 차량은 첫 번째 차량부터 연속된 차량으로 구성되어있으며, 특히 임의의 차량을 n차량, 다음 차량을 n+1차량으로 놓는다. 이때 초기 평균속도를 ξ 이라 하면, 각 차량의 시간 t에서 속도는 $v_{n,t}$ 이며, 이때 발생하는 임의효과는 $\omega_{n,t}$ 이다. 초기의 속도는 ξ 이지만 시간이 경과됨에 따라 속도에 ω 만큼의 속도 변화가 누적되게 되며 결국 차량의 속도 v에 변화를 부여하여 최종 위치 $x_{n,t}$ 를 산정하게 된다. 차량 n의 시점 t=i에서 시점 t=i+1까지 변화한 시간을 δT 이라

하면 최초시점 1부터 최종시점 t까지의 위치 $x_{n,t}$ 를 이용하여 연속되는 두 차량 간의 거리 ($d_{n,t}$)를 나타내는 식(1)은 다음과 같다.

$$d_{n,t} = x_{n,t} - x_{n+1,t} \quad \text{---식(1)}$$

$$= (x_{n,0} - x_{n+1,0}) + \sum_{j=1}^t \left\{ (\xi_n - \xi_{n+1})\delta T + \sum_{i=0}^{j-1} (\omega_{n,i} - \omega_{n+1,i})\delta T \right\}$$

$$\forall v_{n,t} \geq 0$$

$$\omega_{n,t} \sim \text{Normal}(0, \sigma^2)$$

차량은 각 단위시간마다 최소간격과 속도의 비요조건, 그리고 임의효과의 발생을 하며 위치를 이동하게 된다.

모형의 제약조건인 식(2)에서 최소간격을 유지하지 못하는 제약의 조건에서는 임의효과와 속도를 제한하여 최소거리(MG: minimum gap)를 다음 조건으로 유지하도록 한다.

$$\text{IF } d_{n,t} \leq \text{MG} \quad \text{---식(2)}$$

$$\text{THEN } \left\{ \begin{array}{l} \omega_{n+1,t} = 0 \\ v_{n+1,t} = \{(x_{n,t} - \text{MG}) - x_{n+1,t-1}\} / \delta T \\ x_{n+1,t} = x_{n,t} - \text{MG} \end{array} \right\}$$

최소거리를 유지하는 제약 조건(식(2))을 가 정하는 모형은 제약 모형이 되며, 제약조건을 가정하지 않는 경우는 비제약 모형이 된다. 제약 모형은 선행차량의 속도가 추종차량들의 속도에 영향을 미치게 되며, 최소 간격이상으로 이동할 수 있는 속도를 낼 수 없다. 추종차량 들은 최소 거리를 내에서 선행차량의 속도를 최대 속도가 되도록 운행하게 된다. 만약 임의 의 속도가 선행차량을 추월하거나 최소 간격을 유지하지 못하게 될 경우는 추종차량은 임의효 과가 없어지고 속도는 간격을 유지할 수 있는 속도로 강제로 감속 시킨다.

김태완(2004)의 연구에서는 속도에 따라서 차두간격의 분산이 동일하지 않음을 확인하였 지만 60(km/h)의 동일한 속도구간의 비교였으 므로 차량군 발생모형 연구에서 속도에 따른 분산 차이는 고려 하지 않았다. 그밖에도, 차량 군집을 정의할 수 있는 연구로 최재성(1999)은 Normann의 선행차량과의 속도차에 의한 방법 을 이용하여 Normann이 제시한 차두간격이 9~10초 일 때 주행차량이 선행 차량에 의해 영 향을 받지 않음을 확인하였고, 하태준(2002)의 연구에서는 차두간격이 1초 이하인 차량부터 제거하면서 차두간격이 큰 쪽의 평균을 산출하 여 작은 쪽 차두간격의 영향을 분석하였으며, 차두간격 5에 해당하는 속도는 5초 이하를 제 거한 평균 속도이고 차두간격 10에 해당하는 속도는 10초 이하를 제거한 평균속도를 설정하 였다. 그 결과 차두간격 6초 이하를 차두간격 영향권으로 보고 있다. 또한, 차량 군집의 분류 기준은 Vogel(2002)의 개별 차량과 차량군 집단의 분류기준으로 시간거리 6초와 이수일 (2006)이 누적속도 평균을 이용하여 정산된 시 간거리 6초를 적용하여 잠정적인 차량군의 분 류기준을 시간거리 6초로 반영하여 군집발생모 형을 제시였다.

차량군 발생모형의 결과 값과 실측된 자료로 의 검지기 데이터를 이용하여 비교 분석한 결 과를 바탕으로 차량의 평균속도, 차량의 평균 앞차와의 거리, 그리고 군집의 기준(시간거리 6 초)에 따른 군집군의 수를 비교하였다. 평균속도 는 최초 60초 까지 두 결과가 유사한 속도를 보 였으나 군집화가 진행되면서 모형의 평균 차량 속도는 지속적으로 감소하였다. 전방차량과의 평

균 거리는 모형의 결과 값과 작은 차이 값을 가 지고 있었고, 군집의 선두차량과 추종차량의 평 균 속도 또한 검지기 자료와 작은 차이를 보이 고 있다. 즉, 차량의 선두차량의 군집거리 (Platoon Length)는 멀어지고 추종차량간의 거 리(Gap)는 줄어든 것으로 판단하였다. 100(m) 이상의 거리를 두고 움직이는 차량군은 모형에 서 70초 후 20(%), 90초 후 18(%)로 분석하였다. 하지만 차량군 발생모형은 많은 제약조건과 이 상적인 교통상황에 대한 연구이었으며, 특히 차 량속도의 변화요인을 단지 운전자의 운전조작에 의한 임의효과로 가정하여 단순화 하였다. 또한 차량들의 군집화에 가장 큰 변수가 될 수 있는 차량의 차선변경을 고려하지 못하고 있는 한계 점을 가지고 있다.

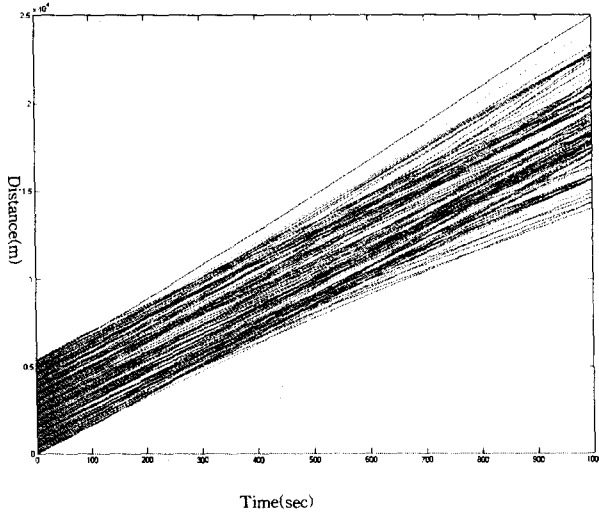
본 연구에서도 도시고속도로상의 비제약 교통 류의 군집화 판단 기준을 시간거리 6초로 하고, 시간거리 6초 이상의 시간거리를 갖는 차량을 차량군의 선두차량, 6초 이하의 시간거리를 갖는 차량을 추종차량으로 정의한다. 차량 군집화에 영향을 주는 요인은 평균속도를 기준으로 정규 분포(이수일, 2006)로 발생하는 운전자의 임의효 과이며, 이 임의의 효과와 평균속도의 합은 운전 자의 희망속도이며, 앞 차량에 의하여 이 희망속 도가 영향을 받음을 <그림 1>과 같이 가정한다.

III. 차량군의 확률적구성과정

1. 차량군의 구성과정

비제약 조건에서 차량들의 움직임을 확인하 기 위하여 차량군 발생모형에서 제시된 식을 다음과 같이 간단히 하여 표현하면 식(3)와 같 다. 여기서 DTC 는 t 시간 n 차량과 $n+1$ 차량의 차간거리가 된다.

$$\begin{aligned} \text{Let } x_{n,0} - x_{n+1,0} &= X_{n,0} \\ \xi_n - \xi_{n+1} &= V_{n,0} \\ \omega_{n,i} - \omega_{n+1,i} &= \Omega_{n,i} \\ d_{n,t} &= DTC \end{aligned}$$



<그림 2> 비제약 조건 1회시 시공도

$$\begin{aligned}
 DTC_{n,t} &= X_{n,0} + \sum_{j=1}^t \left\{ V_{n,0} T_j + \sum_{i=0}^{j-1} \Omega_{n,i} \delta T \right\} \\
 &= X_{n,0} + \sum_{j=1}^t V_{n,0} T_j + \sum_{j=1}^t \sum_{i=0}^{j-1} \Omega_{n,i} \delta T \\
 &= X_{n,0} + V_{n,0} \sum_{j=1}^t T_j + \sum_{j=1}^t \sum_{i=0}^{j-1} \Omega_{n,i} \delta T
 \end{aligned}$$

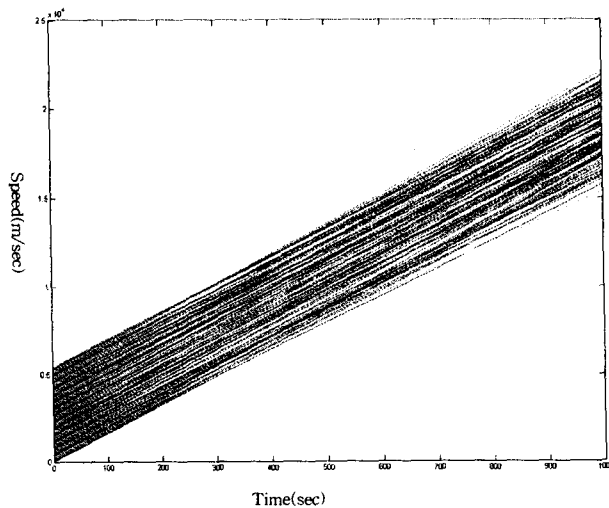
- 식(3)

식(4)에서 시뮬레이션 시간간격인 δT 는 모두 같은 시간이므로, 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

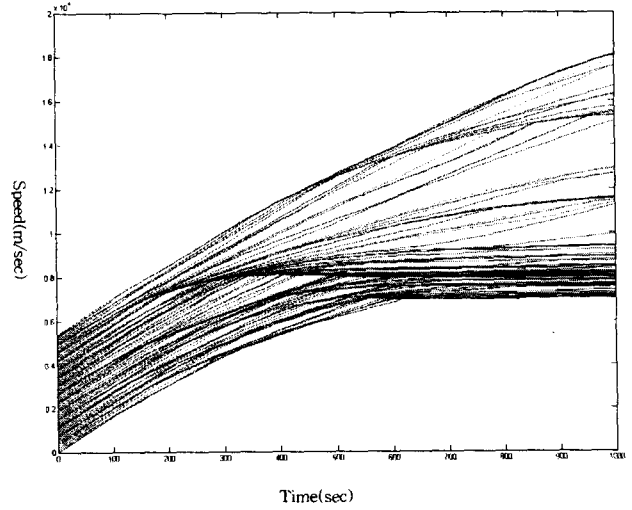
Let $\delta T = T$

$$\sum_{j=1}^t \delta T = T$$

또한 t시간 n차량과 n+1차량의 차간거리와



<그림 4> 비제약조건 1000회시 평균 시공도



<그림 3> 제약조건 1회시 시공도

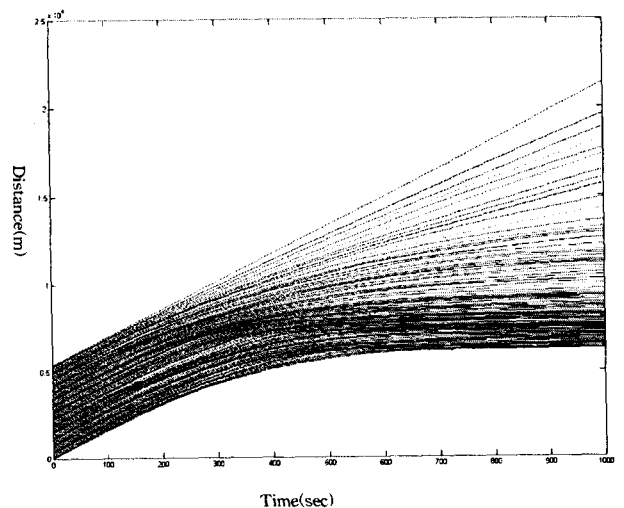
t-1시간 n차량과 n+1차량의 차간거리의 차이는 한 단위 시간 변화 동안 n차량과 n+1차량의 차량 거리 변화량이 된다. 이 두 차량의 차량거리 변화량을 DVTC라 놓으면 다음과 같이 식(4)으로 나타난다.

$$DVTC_{n,t} = DTC_{n,t} - DTC_{n,t-1}$$

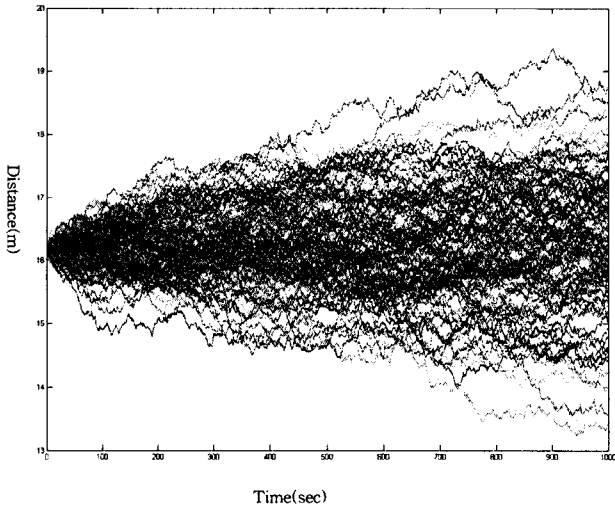
$$DTC_{n,t} = X_{n,0} + V_{n,0} Tt + \sum_{j=1}^t \sum_{i=0}^{j-1} \Omega_{n,i} T$$

$$DTC_{n,t-1} = X_{n,0} + V_{n,0} T(t-1)$$

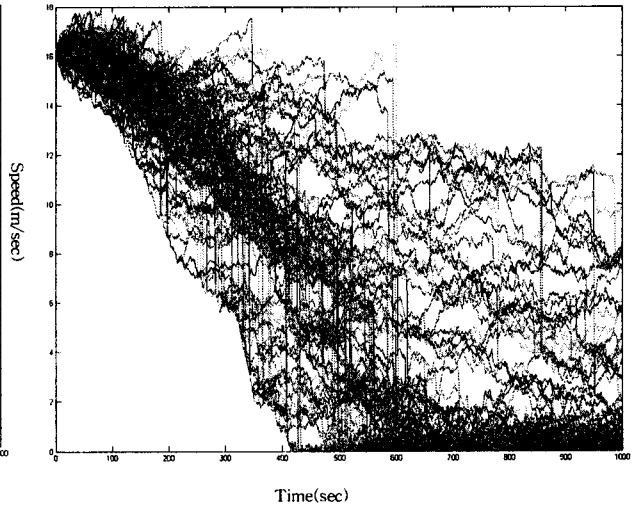
$$+ \sum_{j=1}^{t-1} \sum_{i=0}^{j-1} \Omega_{n,i} T$$



<그림 5> 제약조건 1000회시 평균 시공도



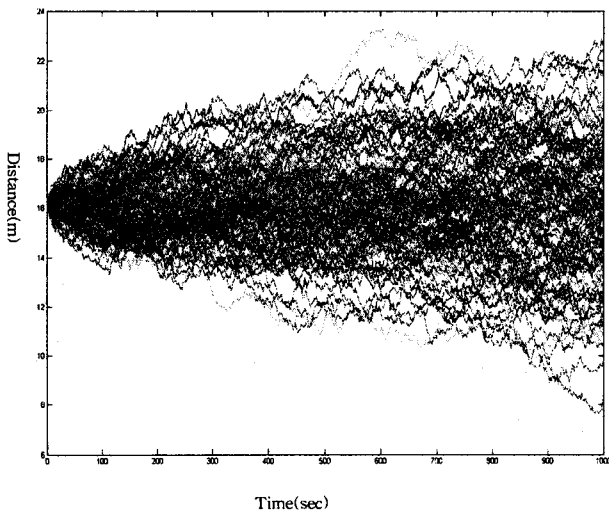
<그림 6> 비제한조건 1회시 차량 속도분포



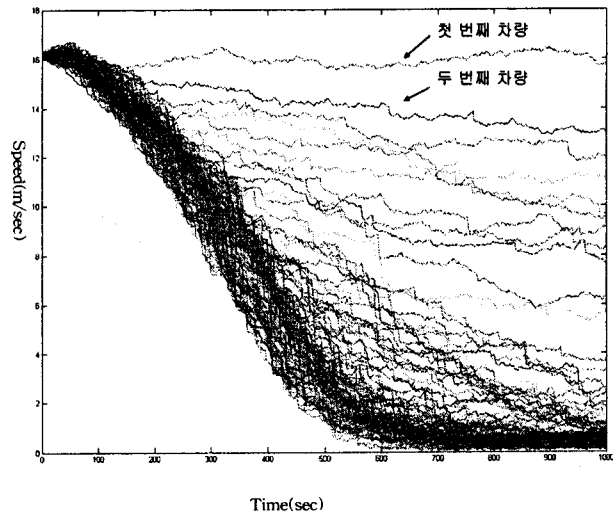
<그림 7> 제약조건 1회시 차량 속도분포

$$\begin{aligned}
 DVTC_{n,t} &= X_{n,0} + V_{n,0}T + \sum_{j=1}^t \sum_{i=0}^{j-1} \Omega_{n,i} T \\
 &- \left\{ X_{n,0} + V_{n,0}T(t-1) + \sum_{j=1}^{t-1} \sum_{i=0}^{j-1} \Omega_{n,i} T \right\} \\
 &= V_{n,0} \{ Tt - T(t-1) \} + \sum_{i=0}^{t-1} \Omega_{n,i} T \\
 &= V_{n,0}T + \sum_{i=0}^{t-1} \Omega_{n,i} T \quad \text{---식(4)}
 \end{aligned}$$

식(4)을 통하여 두 차량의 차간거리의 단위시간의 변화량을 표현하였으며, 여기서 $V_{n,0}$ 는 초기속도의 속도차이 이므로 평균 속도를 초기속도로 가정할 경우 0이 되는 부분이며, 평균속도를 가정하지 않은 경우도 상수로서 알 수 있는



<그림 8> 비제한조건 1000회시 평균 차량



<그림 9> 제약조건 1000회시 평균 차량

부분이다.

그러므로, 초기속도의 차이 $V_{n,0}$ 를 소거하면 순수하게 운전자가 초기속도 차이 이외에 시간이 경과하면서 변하는 속도 변화량을 알 수 있다. 이것은 누적된 운전자의 임의효과이며, 운전자의 희망속도 중에서 초기속도의 차를 제외한 나머지 희망속도의 속도차이라 할 수 있다. 이것을 $NDVTC$ 로 표현한다.

$$Let \quad NDVTC_{n,t} = DVTC_{n,t} - V_{n,0}T$$

임의효과를 정규분포로 가정하였으므로, 차량 n 과 차량 $n+1$ 의 임의효과는 식(5)과 같은 정규분포를 따르게 된다.

$$\begin{aligned}
NDVTC_{n,t} &= \sum_{i=0}^{t-1} \Omega_{n,i} T \\
&= \sum_{i=0}^{t-1} (\omega_{n,i} - \omega_{n+1,i}) T \\
&= T \sum_{i=0}^{t-1} \omega_{n,i} - T \sum_{i=0}^{t-1} \omega_{n+1,i}
\end{aligned}$$

$$\sum_{i=0}^{t-1} \omega_{n,i} \sim Normal(0, t^2 \sigma^2)$$

$$\sum_{i=0}^{t-1} \omega_{n+1,i} \sim Normal(0, t^2 \sigma^2)$$

- 식(5)

여기서 시물레이션 시간간격에 의하여 고정된 T를 소거하고 PNDVTC를 구하면 식(6)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
Let \quad PNDVTC &= \frac{NDVTC}{T} \\
PNDVTC &= \frac{\sum_{i=0}^{t-1} \Omega_{n,i} T}{T} \\
&= \sum_{i=0}^{t-1} (\omega_{n,i} - \omega_{n+1,i}) \\
&= \sum_{i=0}^{t-1} \omega_{n,i} - \sum_{i=0}^{t-1} \omega_{n+1,i}
\end{aligned}$$

- 식(6)

그러므로 연속된 두 차량의 특정 시점에서 그 다음 시점까지 거리변화는 이동하는 차량의 임의효과에 의하여 발생한 누적속도의 차이로 표현되었다. 이는 <그림 2>과 같이 나타나게 된다.

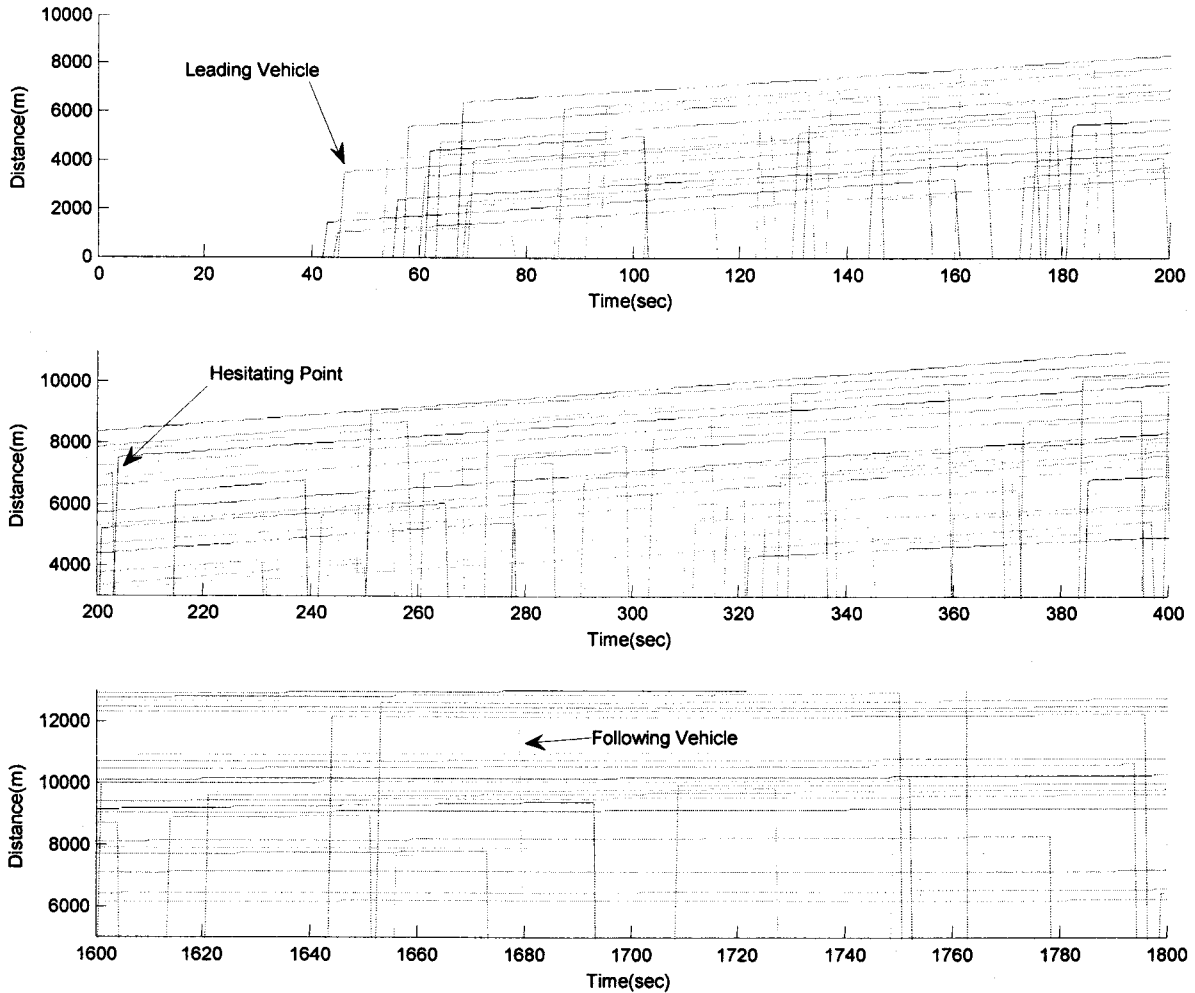
하지만 이와 달리 제약식의 경우는 식(2)의 제약조건의 식에 의하여 차량의 위치에 영향을 받아 표현되며, 이는 시물레이션 과정을 통하여 차량의 위치가 결정되게 된다. 그러므로 식(3)은 식(2)의 제약조건을 만족하는 값으로 정해지게 되며, 이는 <그림 3>과 같이 나타나게 된다.

2. 차량군의 확률적 구성

차량들의 최초속도가 모두 같을 때 차량의 운행시간이 지속되면서 임의로 발생한 운전자들의 희망속도의 차이는 PNDVTC와 같이 나타났다.

결국 식(6)에서 제시된 누적된 차량 n의 임의효과 $\omega_{n,i}$ 와 n+1차량의 누적된 임의효과 $\omega_{n+1,i}$ 에 차에 의하여 차량들의 간격이 결정되게 된다. 이때 n+1 차량의 시점 0부터 시점 t-1까지 누적된 $\omega_{n+1,i}$ 가 n 차량의 같은 시점동안 누적된 $\omega_{n,i}$ 보다 크게 되면 두 차량의 간격은 감소하게 되며, 반대의 경우는 차량의 간격이 멀어지는 과정을 거치게 된다.

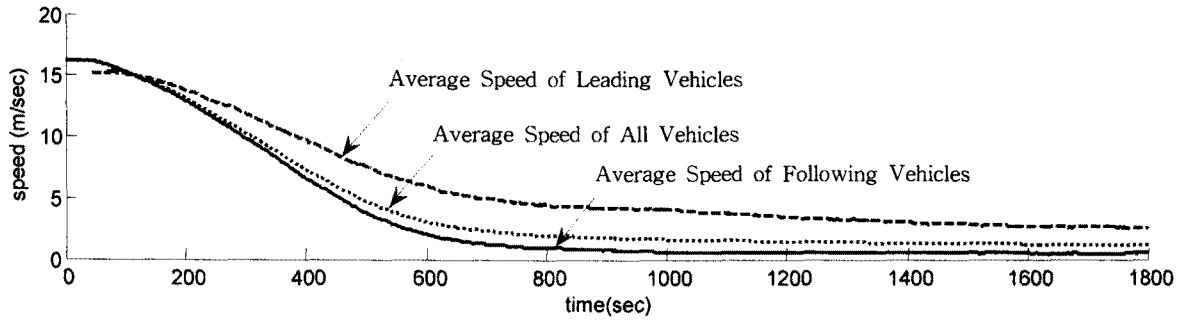
하지만 비제약조건에서는 시간 t가 커지면 커질수록 $\sum \Omega_{n,i}$ 의 기댓값은 서로 같은 확률분포의 확률변수간의 차이이므로 0이 될 것이다. 즉 시간이 흐를수록 정규분포에서 발생한 임의효과들의 누적 값은 전방차량과 후방차량이 같게 되는 것이다. 반면에 제약조건에서는 후방차량의 임의효과 $\omega_{n+1,i}$ 는 일부가 양의 값을 가지는 경우(즉, 속도가 빨라지는 경우) 전방차량과의 최소간격을 유지하기 위한 제약조건을 만족시켜야 하기 때문에 0이 된다(식(3)). 그러므로 전방차량의 임의효과 누적량 $\sum \omega_{n,i}$ 는 후방차량의 임의효과 누적량 $\sum \omega_{n+1,i}$ 보다 크거나 같게 되는 것이다(즉, 작아 질수는 없다). 임의효과를 반영한 제약, 비제약 경우의 차량들의 시공도를 1회 실시한 경우와 1000회 반복하여 평균값으로 구한 경우는 다음과 같고, <그림 2와 3>은 차량군집모형을 제약시와 비제약시로 나누어 100대의 차량을 1000초동안 1회 시물레이션한 시공도이다. <그림 2>는 비제약의 경우 시간의 흐름에 따라 차량들간의 교차가 이루어지며 넓은 분포로 차량의 위치가 결정되고 있지만, <그림 3>은 제약인 경우로서 시간의 흐름에 따라 차량들간의 교차가 이루어지지 못하므로 전방차량에 영향을 받아 일부차량들은 정제하고 있는 모습을 보이고 있다. <그림 4와 5>는 차량군집모형을 같은 조건에서 1000회 반복하여 평균적인 시공도를 표현하였다. <그림 4>는 발생되는 임의효과들의 기댓값이 0이므로 초



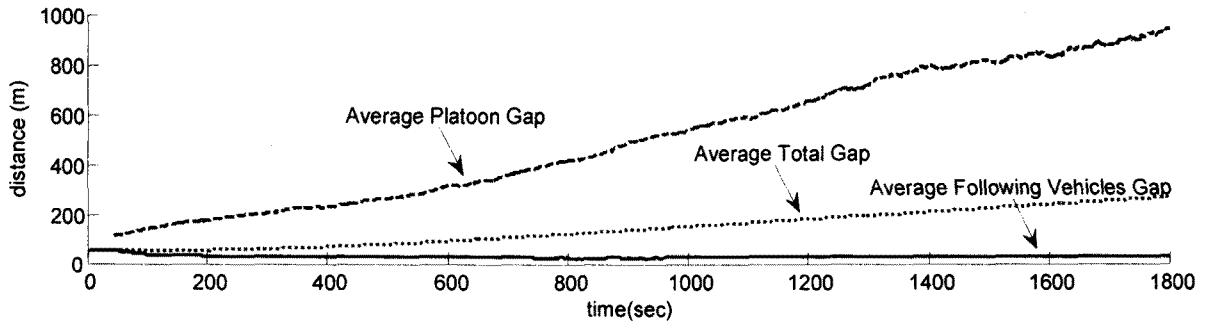
<그림 10> 제약조건의 차량 100대의 1800초간 군집선두차량의 시공도

기속도를 유지하며 이동하는 것으로 판단되며, <그림 5>의 경우는 선두차량을 제외한 모든 차량들이 전방차량의 최소간격제약조건에 속도를 제한받아 속도가 줄어들었음을 확인할 수 있다. 특히 후방차량이 될 수록 속도가 더욱 많이 줄어들었다. 이것은 후방차량이 최소간격의 제약조건에 더욱 많이 영향을 받은 것이라 할 수 있다. <그림 6과 7>은 차량군집모형을 제약시와 비제약시로 나누어 100대의 차량을 1000초동안 1회 시뮬레이션한 속도이다. <그림 6>과 같이 비제약의 경우는 차량들의 간격이 자유로운 속도 속에서 균일한 간격을 유지하고 있지만, <그림 7>과 같이 제약의 경우는 앞차에 제한을 받아 속도가 감소하고 있음을 알 수 있다. 특히 전방의 차량이 후방의 차량보다 속도가 차츰 늦어지는 것은 확률적으로 발생한 임의효과가 선두차량에 의하여 제한받을 수 있는 경우가 전방의 차량일수록 후방의 차량보다

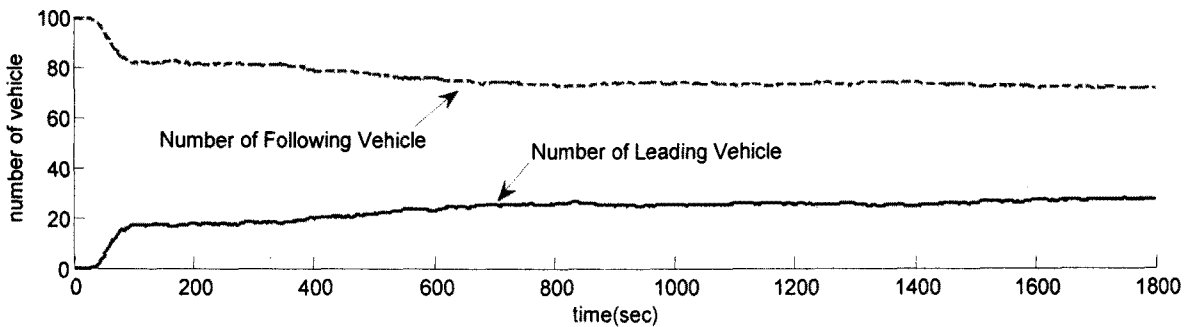
작기 때문에 첫 번째 차량은 제약조건 없이 속도를 가져갈 수 있으며 두 번째 차량은 첫 번째 차량과의 최소거리제약을 받으며, 세 번째 차량은 두 번째 차량과의 최소거리제약 뿐만 아니라 첫 번째 차량과 두 번째 차량간의 최소거리제약에 의한 강제적 속도변화에 의한 최소거리제약(식(2))을 만족하여야 하므로, 후방의 차량일수록 제약을 받는 조건이 많아지게 되는 것이다. 그러므로 <그림 9>와 같이 첫 번째 차량의 경우 비제약과 같은 시공도를 나타내는 것에 반하여 후방의 차량이 될 수록 속도가 줄어드는 모습을 확인할 수 있다. 이는 속도의 분포 또한 시공도에 표현된 것과 같이 제약받는 횟수가 전방차량보다 후방차량에게 많이 일어나고, 감속횟수의 증가는 개별 차량들의 속도에 영향을 주며 차량속도를 비제약의 경우보다 감소함을 반영할 수 있는 것이다.



<그림 11> 제약조건의 차량 100대의 1800초간 평균 속도(1000번 반복)



<그림 12> 제약조건의 차량 100대의 1800초간 평균 거리(1000번 반복)



<그림 13> 제약조건의 차량 100대의 1800초간 평균 군집수(1000번 반복)

IV. 모형의 평가

1. 차량 평균속도

본 연구에서는 차량군 발생모형의 속도와 임의효과의 합을 차량의 희망속도라고 가정하였고, 동일한 조건을 만족할 때 30분간의 차량의 평균 속도 변화는 <그림 11>과 같다. 50초 전후로 발생한 선두차량의 평균속도는 전체 평균속도와 추종차량의 평균 속도보다 낮은 상태로 유지되면서 전체 평균속도를 감소시키고 있으며, 150초 전후로 추종차량의 속도는 선두차량의 속도보다 감소하기 시작한다. 이는 <그림 5>의 평균 시공도에서 나타난 것과 같이 전방차량의 속도보다 후방차량의 속도가 빠를 수

없는 제약조건(식(3))을 만족시켜야 하기 때문이며 선두차량의 평균속도 역시 시간이 갈수록 감소하는 이유는 차량의 제일 앞에 있는 차량 이외에는 언제든지 군집을 생성 소멸하면서 차량의 속도에 제약을 받을 수 있기 때문이다. 또한 <그림 10>의 선두차량의 시공도에서도 시간이 갈수록 차량의 속도가 감소하는 것을 볼 수 있다. 현실상황에서 추월이 금지된 단일 도로에서 전방차량의 저속은 모든 후방차량에게 영향을 주게 되는 것과 같다.

2. 차량 평균거리

<그림 12>에서 차량들의 평균거리는 50초 전

후로 군집이 발생하면서 추종차량의 평균거리는 전체차량의 평균거리이하로 떨어지게 되며, 차량군의 선두차량의 경우는 발생이후 지속적인 증가를 보이게 된다. 이는 <그림 5>을 통하여 알 수 있다. <그림 12>의 평균 거리에서는 추종차량의 평균속도는 200초 까지 지속적인 감소이후에 최소 간격이하로는 줄어들지 않고, 최소간격으로 수렴해 가며 선두차량의 간격은 지속적으로 증가하는 것을 볼 수 있다.

3. 시간별 평균 군집 개수

<그림 10>의 제약조건에서의 차량군집 선두차량의 시공도를 살펴보면, 차량군집 잠재시간(Potential Time)을 거쳐 40초부터 80초 사이에 군집발생시간(Generation Time)¹⁾을 거쳐 <그림 11>과 같이 약 20개의 차량군집을 유지하며 차량이 이동하는 것으로 나타났다. 시간이 200초 정도 지날 때 평균적인 차량군집의 개수가 약간 늘어나고 있는데 이것은 <그림 3>과 같이 전방에 차량군집이 후방의 차량군집보다 속도가 너무 떨어지는 경우 군집이 합쳐지는 현상으로 차량군집의 개수를 줄이는 현상이 일어나고 있지만, 기대위치의 경우 <그림 5>와 같이 후방차량은 전방차량보다 빠른 속도를 내지 못하므로(즉, 전방차량이 후방차량보다 최소한 같거나 빠르다) 후방차량은 전방차량과 거리가 멀어지게 되고, 결국은 각각 차량들은 시간의 흐름속에서 속도차이가 거리차이가 됨으로서 개별차량들이 전방차량과의 거리가 100m 이상이 되면서 단독 차량들의 차량군으로 인정되기 때문에 차량군의 수는 기대위치의 경우 줄어들지 않고 있는 것으로 보인다. <그림 10>에서 시뮬레이션의 초반(0초~400초)에는 군집이 매우 여러 번 발생과 소멸을 거듭하는 것으로 보이지만, 후반(1600초~2800초)에는 비교적 적은 횟수로 차량군집이 발생과 소멸을 하고 대부분이 차량군집 선두차량인 경우 차량군집을 유지하고 있는 것으로 보이고 있다. 이

1) 이 준, 정진혁(2006)은 최초 군집이 만들어지기 전까지 시간을 잠재시간, 만들어지는 시간을 군집발생시간, 이후에 군집이 생성과 소멸을 반복하는 시간을 변동시간으로 정의하였다.

것은 차량군집의 생성소멸과정을 충분히 거쳐서 어느 정도 차량군의 선두차량과 추종차량이 결정되어 차량이동이 이루어지는 것이라 판단할 수 있다.

V. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 운전자의 희망속도를 차량군집 발생모형의 속도와 임의효과의 합으로 가정하고, 모형을 다수 번 반복한 평균을 이용하여 시간의 흐름에 따른 차량들의 기대위치를 제시하고, 차량군의 개수 변화를 관찰하였다.

차량들의 기댓값을 이용한 위치에서는 전방차량의 경우는 속도에 제한을 받는 횟수가 후방의 차량보다 적기 때문에 희망속도를 유지할 수 있는 횟수가 많았고, 후방의 차량은 이와 반대가 되었다. 그러므로 후방의 차량들의 속도는 전방의 차량들보다 시간이 갈수록 감소하였으며, 기대되는 위치도 추월이 가능한 경우보다 30분경과 후 33%의 거리를 이동하는데 불과하였다. <그림 3>의 임의의 시뮬레이션 결과에서 얻어진 전체차량의 시공도에서 확인할 수 있듯, 몇몇의 차량이 연속된 차량들 전체의 차량 속도에 영향 크게 주고 있으며, 차량들의 작은 임의효과만큼의 희망속도 차이가 군집을 생성 소멸 시키는 것으로 나타났다. 즉, 저속차량에 의한 영향이 단일 차선의 경우 전체 차량의 이동거리를 1/3으로 줄일 수 있다고 판단된다.

차량들의 차량군집 개수 변화는 일정시간동안 생성되어 약 20%의 차량 군집을 만들었으며, 차량들이 차량군을 생성 소멸하다가 비교적 안정된 수로 차량군집의 개수를 유지하며 이동하는 것으로 판단되었다. 본 연구에서는 100대의 차량에 대하여 약 20대가 차량군의 평균적 개수로 판단되며, 시간이 경과함에 따라 전방의 속도가 낮은 차량군과 후방의 속도가 빠른 차량군이 합류하면서 차량군의 개수는 줄어들고 동시에 선두차량이었다던 저속차량들이 차량이 낼 수 있는 평균 속도 가속하는 경우 독립적인 차량군을 형성하면서 이동하므로, 차량군의 총 개수는 다소 증가하는 것으로 시뮬

레이션 되었다. 하지만 이결과는 차량들이 가지고 있는 임의효과가 전방차량에 의하여 제한을 받았고 이것이 임의효과와 기댓값을 0이 아닌 음(-)의 값을 가지기 때문에 발생한 것이라 판단된다. 임의의 효과가 기댓값을 0으로 갖지 못하는 경우는 차량들이 평균속도보다 낮은 상태로 운행하는 것이 희망 속도가 되기 때문에 문제점을 보완할 필요가 있다고 판단된다. 이와 같이 모형에 제시되어있는 파라메타들의 변화에 따른 결과의 변화를 이해한다면, 차량군집의 개수와 생성시기 뿐만 아니라 속도변화와 이동방법을 분석가가 조절하며 현실 상황에 맞추어 갈 수 있을 것이다. 차량들 개개인에 대한 속도와 위치 정보를 담고 있는 비교데이터의 한계를 가지고 있지만 선행연구에 대한 후속연구로서 현실상황을 일부 반영한 차량군 발생 모형을 더욱 발전시키고 분석하기위한 연구라 할 수 있다.

본 연구에서는 희망속도를 차량의 평균속도와 임의효과로 가정하였지만, 각 차량들의 실제 초기속도와 운전자 개개인이 가지고 있는 운전성향과, 도로 상황을 임의효과에 반영한다면, 실제 교통상황에서 시간에 따른 기대위치 뿐만 아니라, 차량군집의 개수와 차량 군집 선두차량을 찾을 수 있을 것이다. 임의효과와 반영을 현실적으로 할 수 있는 방법론이 계속 연구되어야 할 것이며, 도로의 기하구조 반영과, 차선변경 부분을 모형에 적용할 수 있도록 발전시킬 필요가 있다.

참고문헌

1. 김태완 외(2004), "차간시간 변수를 이용한 교통 기본도의 미시적 해석", 대한교통학회지 제22권 제3호.
2. 도철웅(2004), "교통공학원론(상)", 청문각
3. 이수일(2006), 안전측면의 도로선형 설계 일관성 평가기준 개발에 관한 연구, 박사학위논문
4. 윤 판(2000), 차량군 분산계수의 변화에 따른 내재변수의 민감도 분석, 대한지역개발학회지 제12권 제2호
5. 이용재(2006), 기초교통공학, 중앙대학교출판부
6. 이재명(2006), 연속류 차량군 설정 기준에 관한 연구, 대한토목학회 학술발표회 논문집
7. 이 준, 정진혁(2006), 고속도로 교통류의 차량군 집현상에 관한 연구-차량군집 발생모형, 대한교통학회 추계 학술발표대회 논문집
7. 최재성(1998), 도로선형에 대한 설계 일관성 평가 모형의 개발, 대한교통학회지 제16권 제4호
8. 하태준 외(2003), 가속도를 고려한 도로의 설계일관성 평가기법에 관한 연구, 대한 교통학회지 제21권 제1호
9. Brackstone(1999), "Car following: a historical review", Transportation Research Part F, Vol. 2, pp. 181-196
10. Katja Vogel(2002), "What characterizes a Free Vehicle in an urban area?", Transport Research Part F, pp. 15-29
11. Katja Vogel(2002), "A comparison of headway and time to collision", pp. 427-433
12. Thomas A. Ranney(1999), "Psychological factors that influence car-following and car-following model development", Transportation Research Part F, pp. 213-219