

# 교통 영상에서의 Backward Moving 충격파 속도 측정 Backward Moving Shockwave Speed Measurement in Traffic Images

권영탁, 소영성

449-728 경기 용인시 남동 산 38-2번지, 명지대학교 정보통신공학과

Young-Tak Kwon, Young-Sung Soh

Dept. of Information and Communication Engineering, MyongJi University

San 38-2, Nam-Dong, YongIn, KyungGi-Do, 449-728 Korea

## 요 약

본 논문에서는 신호 교차로에서 red-time 및 green-time의 backward moving 충격파 속도를 자동 측정하는 영상처리 기반 방법을 제안한다. 충격파(shockwave)란 서로 다른 교통류 상태가 만나는 불연속적인 경계선을 의미하며, 충격파 속도는 충격파가 움직이는 속도 즉, 경계선의 기울기로 구해진다.

본 논문에서는 충격파 속도를 자동 측정하기 위해 거리-시간 다이어그램(distance-time diagram)을 작성하였다. 차량의 전역 추적을 통해서 모든 개별 차량의 이동 경로를 거리-시간 다이어그램에 나타내었고, 이동 경로 곡선의 기울기 변화 패턴을 분석하여 red-time 및 green-time의 backward moving 충격파 속도를 계산하였다. 제안된 방법을 신호 교차로에서 실험하였고 red-time 및 green-time backward moving 충격파 속도의 측정 결과를 얻었다.

충격파 속도를 측정하게 되면 차량 진행 방향의 교통 혼잡 상황을 쉽게 파악할 수 있으므로 고속도로의 진입차선 제어, 교차로의 자동 신호제어에 효과적으로 응용할 수 있다.

## Abstract

In this paper, we propose an image processing based method to measure red-time and green-time backward moving shockwave speed automatically at signalized intersections. Shockwave means the discontinuous boundary line between different vehicle traffic flows, and its moving speed is called shockwave speed which is obtain from the slope of boundary line.

In this paper, we compose distance-time diagram for measuring shockwave speed automatically. By global vehicle tracking, we draw all of the vehicle moving path on distance-time diagram. We analyze the slope change pattern of curved moving path line, and compute red-time and green-time backward moving shockwave speed. We obtain the measurement result of shockwave speed, when applying above mentioned proposed method to experiment at signalized intersections, .

Once we can measure the shockwave speed, we could apply the result to highway ramp metering and automatic signal control at intersections effectively since we know the situation of frontal congestion easily.

**Key words** : spatial traffic information, shockwave speed, traffic flow, distance-time diagram

## I. 서론

교통류(traffic flow)란 교통정보 분석을 위해 교통량, 속도, 밀도 등의 변수를 사용하여 이들 상호관계를 모형화한 것이다. 교통류의 3가지 변수인 교통량, 속도, 밀도의

상관관계를 교통류 모형이라 부르며 이들간에는 다음의 관계식이 성립된다.

$$q = u \cdot k \dots\dots\dots (식 1)$$

여기서,  $q$ 는 평균 교통량 또는 평균 교통류율(veh/h),

$u$ 는 공간 평균속도(km/h),  $k$ 는 평균 밀도(veh/km)를 의미한다.

평균 교통량은 단위시간 동안 일정지점 또는 구간을 통과한 차량의 수를 나타낸 것이며, 공간 평균속도는 단위시간 동안 이동한 차량의 거리를 의미한다. 평균 밀도는 일정 시점에 단위 구간내 존재하는 차량의 수를 나타낸다.

교통류는 차량 흐름의 끊김 정도에 따라 크게 연속 교통류와 단속 교통류로 구분하는데, 고속도로의 기본구간, 잇갈림 구간, 연결로와 접속부, 2차선 및 다차선 도로 등이 연속 교통류에 해당되며, 신호 교차로, 비신호 교차로 등은 단속 교통류에 속한다. 교통정보는 크게 지점정보와 공간정보로 구분되는데 교통량, 속도, 점유율 등이 지점정보에 해당되며, 구간 통행량, 통행시간, 통행속도와 정지 및 이동 대기행렬 길이, 회전 및 직진 교통류 등이 공간정보에 속한다.

공간정보 측정을 위한 일반적인 영상검지기의 구조는 그림 1과 같으며 비디오 입력 영상으로부터 최종 교통정보를 얻기까지 차량 탐지, 차량 추적, 교통정보 측정의 3단계 과정을 거친다.[1]

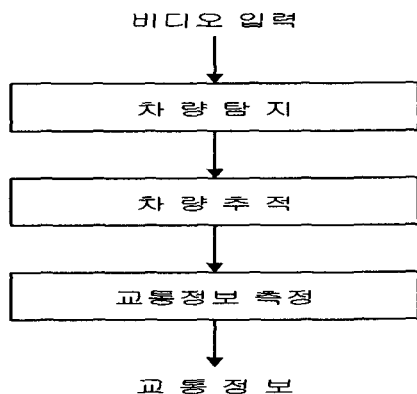


그림 1. 영상검지기의 기본 구조  
Fig. 1 Basic structure of image detector

한편, 공간정보를 측정하기 위해서는 탐지된 개별 차량을 일정 구간내에서 전역추적을 해야 하므로 지점정보 측정 때와는 달리 전역추적 기술을 필요로 한다.[2, 3]

충격파 속도(shockwave speed)는 이러한 고급 공간정보에 속하며, 일반적으로 교통 문제에서 다루는 충격파 속도 측정을 위해서는 비교적 장거리(수km~수십km) 구간의 지속적인 차량 흐름을 파악할 수 있어야 한다. 이때, 한 대의 카메라와 광각 렌즈를 사용하여 광역의 도로영상을 취득하거나 또는 다수의 카메라로 취득한 협역의 영상들을 연계 처리하는 방법을 고려할 수 있는데 본 논문에서는 전자의 방법을 택하였으며 후자는 차후 연구과제로 남겨두었다.

본 논문에서는 교통영상을 처리하여 신호 교차로에서의 backward-moving 충격파 속도 측정 방법을 제안하고 실제 도로영상을 이용하여 제안된 방법을 사용한 실험 결과를 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 충격파에 대한 정의와 충격파 분석방법을 소개하고, 3장에서는 충격파 속도를 측정하는 방법을 제안한다. 실제 도로영상을 이용한 실험 결과를 4장에서 보이고, 5장에서는 실험 결과에 대한 결론을 맺는다.

## II. 충격파 [4]

충격파 이론(shockwave theory)은 밀도와 교통량 변화의 전파 운동을 분석하는 것으로, 두 개의 서로 다른 교통류가 만나는 경계선의 형태와 이동 특성을 연구하는 분야이다.

### 2.1 충격파

교통문제에서 다루는 충격파는 교통류 흐름의 동질적인 상태가 불연속적(discontinuous)으로 나타나는 경계선(boundary line)으로 정의된다. 이러한 충격파 효과는 교통량이 일정수준 이상 붐비는 복잡한 2차선 고속도로나 병목지점, 신호 교차로에서 자주 발생한다.

그림 2는 차량들이 좌측에서 우측 방향으로 진행하며 병목현상이 발생하는 고속도로의 등밀도 지도(density contour map)를 간소화한 모델이다. 여기서 삼각형의 세 변은 각각 교통조건의 변화가 발생하는 경계선을 나타내며, 이 경계선을 지나는 운전자는 교통류 상태가 불연속적인 충격파 현상을 감지하게 된다.

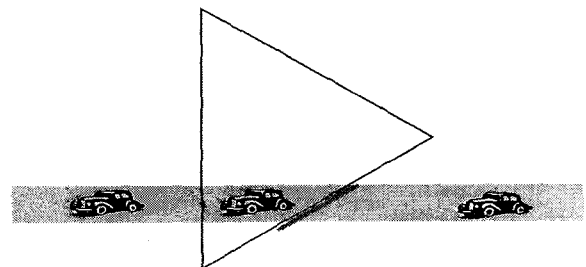


그림 2. 충격파의 경계선  
Fig.2 Boundary line of shockwaves

고속도로의 경우를 예로, 모든 운전자들이 비슷한 속도로 주행하다가 사고나 공사구간 등의 경우가 아닌데도 불구하고 한참동안 차량정체가 심하게 발생했다가 어느 순간 다시 원래의 정상속도를 회복하는 현상을 목격할 수 있다. 이러한 현상의 주된 원인은 주변의 교통흐름과 차량 속도에 균형을 맞추지 않고 저속 운행하는 일부 차량들에 의해 대부분 유발되는데 이는 뒤따르는 차량군 전체의 교통흐름에 연쇄적 파급 효과를 미치게 되어, 이것이 후방 몇 km뒤에서는 차량의 정체 현상으로 나타나게 된다.

한편, 신호 교차로의 경우는 교차로를 원활하게 통과하는 차량들이 적색(red) 신호에 의해 정지선에 정지하면서 뒤따르는 차량들이 함께 속도를 줄이는 충격파의 움직임을 예로 들 수 있다. 녹색(green) 신호가 다시 켜지고 정지한 차량들의 대기행렬은 서서히 풀려나가게 되며 또한 차량의 움직임과 함께 충격파가 다시 이동을 하게 된다.

이때 충격파가 움직이는 단위시간당 속도를 계산해 낼 수 있으며, 충격파 경계선의 기울기를 충격파 속도(shockwave speed, km/h)라 부른다. 충격파 속도는 교통류의 혼잡과 비혼잡 상태간의 전이 특징을 나타내는 중요한 지표로 사용될 수 있다.

2.2 충격파의 유형

충격파는 고속도로와 같은 연속 교통류와 신호 교차로 등의 단속 교통류 상황에서 유사한 형태로 발생한다.

그림 3은 충격파의 유형을 거리(distance)와 시간(time)에 따라 상세 구분한 것으로, 경계선의 안쪽 부분은 정체로 인해 차량의 밀도가 상대적으로 높은 지역이며 경계선 바깥 부분은 소통이 비교적 원활하여 차량 밀도가 낮은 지역이다. 그림 3에서 backward forming, frontal stationary, forward recovery 충격파는 많이 발생하는 대표적 유형에 속하며, 실제 교통분석에서는 forward moving, rear stationary, backward recovery를 모두 포함시켜 총 6가지로 구분하여 사용한다.

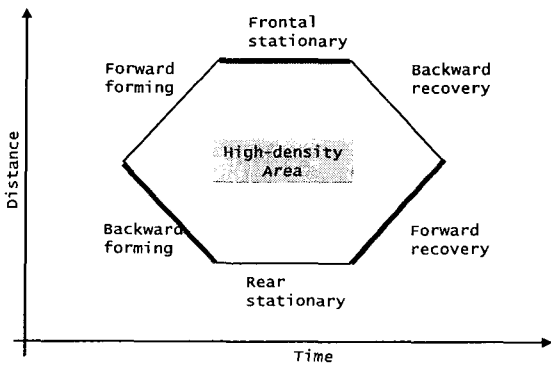


그림 3. 충격파의 구분  
Fig. 3 Classification of shockwaves

차량의 진행 방향을 기준으로 출발지 방향을 상류, 목적지 방향 하류로 정의할 때, 대표적 유형의 충격파의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- ① backward forming - 교통류 상태의 불연속적 경계 즉, 충격파가 차량 진행 방향의 반대쪽인 상류쪽(출발지)으로 이동하며 혼잡지역이 서서히 증가한다.
- ② forward recovery - 충격파가 차량 진행방향과 같은 하류쪽(목적지)으로 이동하며 혼잡지역이 점차 감소한다.
- ③ frontal stationary - 시간에 따른 특별한 변화가 없이 동일한 교통류 상태가 지속되는 구간이다.

(이후부터는 -forming, -recovery 대신에 -moving이라는 일반적인 용어로 대체하여 사용하기로 한다.)

2.3 충격파의 분석 방법

1) 충격파 분석의 배경

교통 흐름(flow)과 밀도(density)간의 관계는 그림 4(a)에 나타나 있다. 어떤 일정한 속도를 갖는 교통류 상태 A의 교통 흐름(flow), 밀도(density), 속도(speed)를 각각  $q_A, k_A, u_A$ 라 하고, 시간축상 뒤에 발생할, 차량 흐름과 밀도가 낮은, 보다 빠른 속도의 새로운 교통류 상태 B의 교통 흐름, 밀도, 속도를 각각  $q_B, k_B, u_B$ 라 하자. 이때, 상태 B의 차량들은 공간(space) 혹은 시간(time) 경과에 따라 상태 A의 차량들을 추월할 만큼 속도가 더 빠르다.

상태 B의 빠른 차량들이 상태 A의 느린 차량들과 만나는 지점에서 차량 흐름의 불연속적 경계가 발생하는 데, 그 과정을 설명하기 위해 거리-시간 다이어그램(distance-time diagram)을 통해 도시한 것이 그림 4(b)이다. 그림 4(c)는 두 개의 서로 다른 교통류가 접한 도로를 어떤 t시점에서 단면을 보인 것인데, 거리축으로 3개의 서로 다른 교통류 상태가 존재한다. 상태 B의 속도  $u_B$ , 상태 A의 비교적 낮은 속도  $u_A$ , 그리고 이 둘 두 상태간의 충격파  $W_{AB}$ 가 바로 그것이다. 그림 4에서는 충격파가 움직이는 방향이 매우 분명하지만, 보다 복잡한 실제 상황에서는 충격파의 방향을 명확하게 결정하기가 힘들다. 교통 흐름의 방향을 기준으로, 충격파가 차량의 진행 방향인 양(positive)의 기울기를 갖는 경우와 이와 반대 방향인 음(negative)의 기울기를 갖는 경우로 구분하여 전자를 forward moving 충격파, 후자를 backward moving 충격파라 한다.

이러한 경계선상에서 연속적인 차량 흐름 조건- “새로운 차량이 갑자기 나타나거나 사라지지 않는다” -을 만족한다고 할 때, 상태 B에서 출발하는 차량의 수를  $N_B$ , 상태 A에 진입하는 차량의 수를  $N_A$ 라 하면 이들 간에는 (식 2)의 관계가 성립한다.

$$N_B = N_A \dots\dots\dots (식 2)$$

상태 B의 차량 속도는 충격파 속도의 경계를 초과하는  $(u_B - W_{AB})$ 이고, 상태 A에서의 차량 속도는 충격파 속도 경계에 못미치는  $(u_A - W_{AB})$ 이다.

따라서,  $N_B$ 와  $N_A$ 는 다음 식으로 풀이될 수 있다

$$N_B = q_B \cdot t = (u_B - W_{AB}) \cdot k_B \cdot t \dots\dots\dots (식 3)$$

$$N_A = q_A \cdot t = (u_A - W_{AB}) \cdot k_A \cdot t \dots\dots\dots (식 4)$$

(식 2)의 성질을 이용하여 (식 3), (식 4)를  $W_{AB}$ 에 대해 풀이하면 (식 5), (식 6)을 각각 얻을 수 있다.

$$(u_B - W_{AB}) \cdot k_B \cdot t = (u_A - W_{AB}) \cdot k_A \cdot t \dots (\text{식 5})$$

$$W_{AB} = \frac{(q_A - q_B)}{(k_A - k_B)} = \frac{\Delta q}{\Delta k} \dots (\text{식 6})$$

그림 4(a)의 흐름-밀도 다이어그램(flow-density diagram)상에 위치한 서로 다른 교통류 상태 A, B, C, D가 있다고 할 때, 상태 A와 상태 B간의 충격파는 우측 상단 방향으로 이동하며 차량 진행 방향과 동일한 양(positive)의 기울기를 갖는데, 이는 앞서 구분했던 forward moving 충격파를 의미한다. 또한, 밀도가 같은 동일한 흐름의 B와 C간의 충격파는 기울기가 0(zero)인 stationary 충격파이며, 상태 B와 상태 D간의 충격파는 음(negative)의 기울기를 갖는 backward moving 충격파이다.

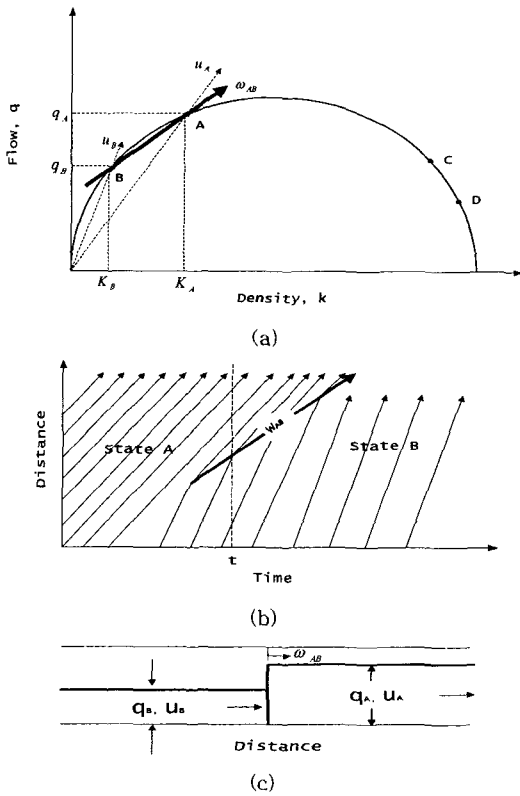


그림 4 충격파 분석의 기초  
Fig. 4 Fundamentals of shockwave analysis

2) 신호 교차로에서의 충격파 분석

신호 교차로의 충격파 방정식을 계산하기 위해서는 그림 5를 참고하기로 한다. 그림 5(a)는 차량의 흐름과 밀도 다이어그램이며, 교통류 상태의 전이에 따라 기울기가 양(positive)인 forward moving 충격파와 기울기가 음(negative)인 backward moving 충격파가 있다.

그림 5(b)는 차량의 이동 거리와 시간을 축으로 하는 거리-시간 다이어그램(distance-time diagram)을 도시

한 것인데, 녹색(green) 및 적색(red) 신호 전이에 딸 각 시점에서 발생하는 다양한 유형의 충격파와 이때의 서로 다른 교통류 상태를 볼 수 있다.

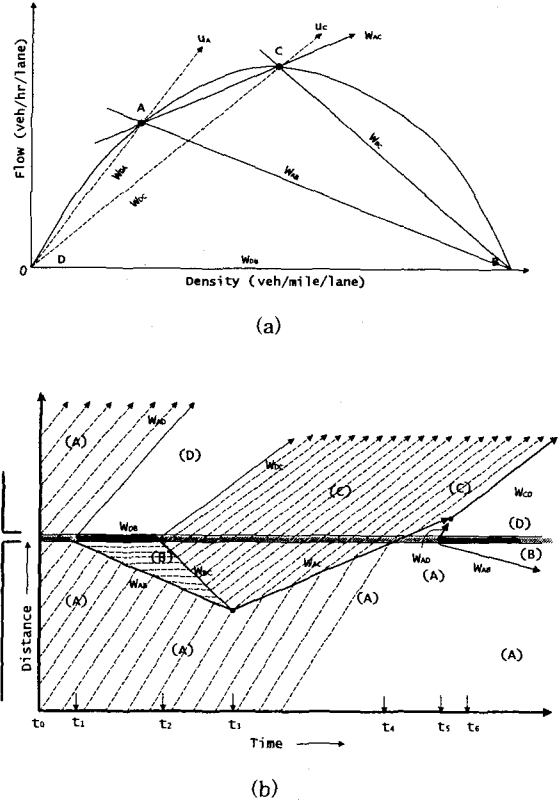


그림 5. 신호교차로에서의 충격파 분석  
Fig. 5 Shockwave analysis at signalized intersection

이 때의 충격파는 녹색 및 적색 신호 전이에 따른 시간대별로 대략 7~8가지로 상세 구분된다.

①  $t_0 \sim t_1$  구간 : 녹색(green) 신호  
차량 소통이 원활하고 상태 A ( $q_A, u_A, K_A$ )만 존재하는 구간이다.

②  $t_1 \sim t_2$  구간 : 적색(red) 신호  
선두 차량이 교차로의 정지선에 정지하면서 후속 차량들이 함께 서서히 차량 대기행렬을 형성하며 정지한다. 또한, 정지선 상류 방향의 상태 B와 정지선 하류의 상태 D가 공존하게 되며,  $t_1$  시점에서 서로 다른 3가지 유형의  $W_{DA}$  (forward moving),  $W_{DB}$  (frontal stationary),  $W_{AB}$  (backward moving) 충격파가 함께 생성된다. 이들 각각에 대한 기울기는 다음 식으로 구해질 수 있다.

$$W_{DA} = \frac{(q_D - q_A)}{(k_D - k_A)} = + u_A (> 0) \dots (\text{식 7})$$

$$W_{DB} = \frac{(q_D - q_B)}{(k_D - k_B)} = 0 \dots (\text{식 8})$$

$$W_{AB} = \frac{(q_A - q_B)}{(k_A - k_B)} = - \frac{q_A}{(k_B - k_A)} (< 0) \dots (\text{식 9})$$

이때의  $W_{AB}$  는 red-time backward moving 충격파라 하

여 따로 구분하기로 한다.

③  $t_2 \sim t_3$  구간 : 녹색(green) 신호

선두 차량이 출발하면서 뒤따르는 차량 대기행렬이 점차 풀려나가기 시작한다. 녹색 신호가 시작되는  $t_2$  시점에서 2가지 유형의 새로운  $W_{DC}$  (forward moving),  $W_{BC}$  (backward moving) 충격파가 함께 생성되며 속도 계산에 다음의 식이 사용된다.

$$W_{DC} = \frac{(q_D - q_C)}{(k_D - k_C)} = + u_C (> 0) \dots\dots\dots (식 10)$$

$$W_{BC} = \frac{(q_B - q_C)}{(k_B - k_C)} = - \frac{q_C}{(k_B - k_C)} (< 0). (식 11)$$

이 때의  $W_{BC}$  는 green-time backward moving 충격파라 하고 따로 구분하기로 한다.

④  $t_3$  구간 : 녹색(green) 신호

$W_{AB}$  와  $W_{BC}$  가 교차하면서 상쇄되어 사라지고 상태 B가 사라지면서  $W_{AC}$  가 새로 생성된다.

⑤  $t_4$  구간 : 녹색(green) 신호

앞서 생성되었던  $W_{AC}$  가 교차로의 정지선을 통과하는 시간을 의미한다.

⑥  $t_5 \sim t_6$  구간 : 적색(red) 신호

$t_5$  까지는 교통류의 흐름을 나타내며 상태 D, C, A가 함께 공존한다.

⑦  $t_6$  구간 : 적색(red) 신호

$W_{AD}$  와  $W_{AC}$  가 교차하여 새로운 충격파  $W_{CD}$  가 생성된다.

본 논문에서는 신호 교차로에서의 충격파 분석만을 다루기로 한다.

### III. Backward Moving 충격파 속도 측정방법

신호 교차로에서 발생하는 충격파는 실제 여러 가지 유형이 있겠으나, 본 논문에서는 적색(red) 및 녹색(green) 신호 전이에 따른 두가지 대표적 유형인  $W_{AB}$  (red-time backward moving) 충격파와  $W_{BC}$  (green-time backward moving) 충격파를 거리-시간 다이어그램을 이용하여 자동 측정하는 방법을 제안하였다.

그림 6에 제안된 충격파 속도 측정방법이 소개되어 있으며, 각 단계별 상세 설명은 아래와 같다.

#### 3.1 차량 추출

차량 추출을 위해서는 배경차이 방법[5]을 사용한다. 배경차이 방법은 장면차이 방법에 비해 비교적 견고한 추출이 가능하다는 장점이 있다.

배경차이 방법은 입력영상과 배경영상의 차영상을 구

하여 움직이는 물체 영역을 추출해내는 기법인데 초기에 배경영상 생성과정이 필요하나 배경이 잘 생성된 경우 차량추출이 용이하기 때문에 대부분의 영상검지기에서 채택되고 있는 방법이다.

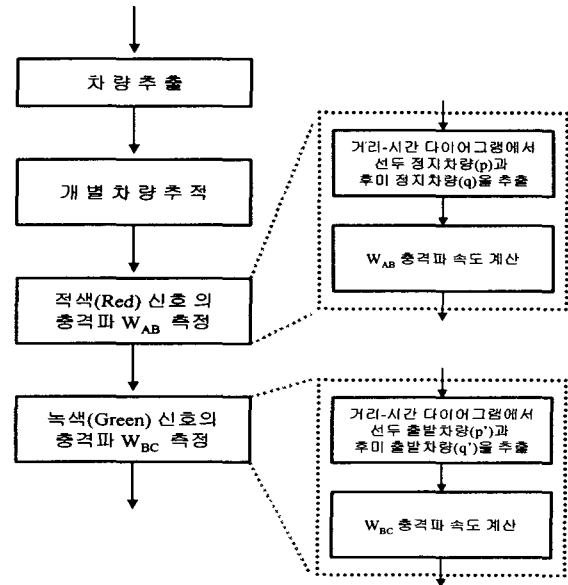


그림 6. 제안된 backward moving 충격파 속도 측정 방법  
Fig. 6 Proposed method for backward moving shockwave speed measurement

#### 3.2 개별 차량 추적

검지 영역내 개별차량의 전역 추적을 위해서는 모션에너지에 기반한 이동물체 추적 방법[6]을 사용한다. 이 방법은 등속도 및 부드러운 궤적 운동을 기본 가정으로 두고, 이동 물체의 움직임을 예측과 상응의 2단계로 추적하는 방법인데 물체의 접침 및 사라짐 현상에 대해서도 견고한 추적이 가능하다.

각 차량의 실제 이동거리를 구하기 위해 Inigo[7]의 화소간 실측거리 계산법을 사용했다. 이 방법은 촬영에 사용한 카메라의 초점거리와 CCD 크기 정보를 이용하여 취득 영상의 각 행과 열에 대한 화소별 실측거리를 쉽게 얻을 수 있는데, 구해진 각 화소별 실측거리를 바탕으로 영상내 움직이는 차량의 실제 이동 거리를 계산하게 된다.

이상의 과정을 통해 얻은 개별 차량의 전역 추적 정보는 시간-거리 다이어그램을 작성하는 기본 자료로 사용된다.

#### 3.3 거리-시간 다이어그램 작성 및 선두/후미 차량 추출

모든 개별 차량들에 대하여 검지영역내 진입한 시점을 기준으로 시간의 변화에 따른 실제 이동 경로를 그려 거리-시간 다이어그램(distance-time diagram)을 작성한다.[4] 실제 추적한 자료로부터의 이동 거리 정보를 이용하여 구간

내에서 가장 선두에 정지한 차량, 가장 후미에 정지한 차량, 가장 선두에서 출발한 차량과 가장 후미에서 출발한 차량을 차례대로 추출한다.

### 3.4 충격과 속도 측정

#### 1) Red-time backward moving 충격과 속도 ( $W_{AB}$ )

이 구간은 적색 신호가 시작되어 선두한 첫 차량이 정지선에 멈추면서 후속 차량들이 차례로 따라 멈추어서게 되므로 대기행렬을 이루는 모든 개별 차량들의 이동 거리가 변함없는 상태가 한동안 지속되는 특징이 있다.

거리-시간 다이어그램을 살폈을 때, 선두 차량의 이동 거리가 변함없는 위치를  $p$ 라 하고, 뒤따르는 마지막 차량의 이동 거리가 변함없는 위치를  $q$ 라 했을 때, red-time backward moving 충격과 속도  $W_{AB}$  는 두 점  $p$ 와  $q$ 를 잇는 선의 기울기이며 음(negative)의 값을 갖는다.

#### 2) Green-time backward moving 충격과 속도 ( $W_{BC}$ )

이 구간은 녹색 신호가 시작되고 선두한 첫 차량이 정지선으로부터 출발하여 이동을 시작하면서 차례로 뒤따르는 차량들도 함께 이동을 시작하는 특징이 있다.

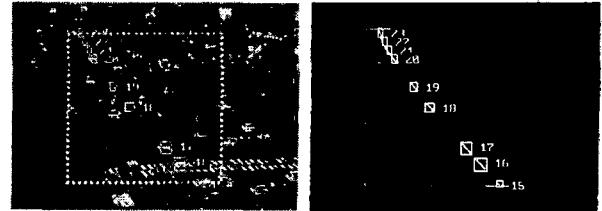
거리-시간 다이어그램을 살폈을 때, 선두 차량의 이동이 시작되는 위치를  $p'$ 라 하고 뒤따르는 마지막 차량의 이동이 시작되는 위치를  $q'$ 라 했을 때, green-time backward moving 충격과 속도  $W_{BC}$  는 이 때의  $p'$ 와  $q'$ 를 잇는 선의 기울기이며 음(negative)의 값을 갖는다.

## IV. 실험 결과

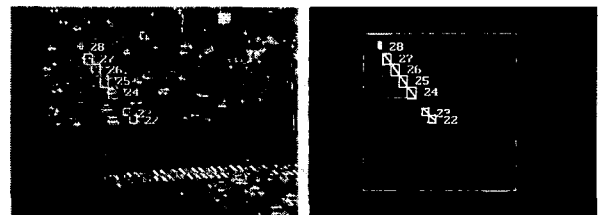
제안된 충격과 속도 측정방법을 실험하기 위해 신호 교차로 구간을 직접 비디오 촬영하여 사용하였다. 단일 카메라를 사용하였으므로 장거리 구간을 취득하지는 못했으나, 영상열내 포함된 도로의 실측거리는 약 175m이고 실험에 사용된 영상열은 실제 7~8분 분량의 13500프레임으로 구성되어 있다. 영상열의 전체적인 흐름은 차량 소동이 원활한 상태에서 적색(red) 신호가 시작되면서 차량정체 현상이 발생하며 대기행렬이 형성된다. 이후 녹색(green) 신호에 의해 차량들이 다시 이동을 시작하면서 대기행렬이 점차 풀려나가는 교통류 상태 변화를 모두 포함하고 있으며, 특히 적색 및 녹색 신호에서의 backward moving 충격과의 특성을 잘 보여줄 수 있는 구간이다.

그림 7은 신호등이 있는 교차로에서 상→하 방향으로 이동하는 차량 흐름을 보여주고 있으며, 이중 2차선 주행 차선을 선택하여 개별차량 추적 과정을 각 상황별로 예를 들어 보였다. 그림 7의 (a), (b), (c)는 각각 교통이 원활한 녹색 신호의  $t_0 \sim t_1$  구간, 적색 신호가 시작되어 차량

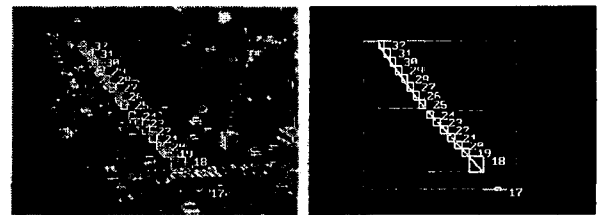
대기행렬이 발생하는  $t_1 \sim t_2$  구간, 적색 신호가 끝나고 녹색 신호가 다시 시작되어 차량 대기행렬이 풀려 나가는 과정을 보이는  $t_2 \sim t_3$  구간에 해당한다.



(a)  $t_0 \sim t_1$  구간 : 녹색(green) 신호



(b)  $t_1 \sim t_2$  구간 : 적색(red) 신호



(c)  $t_2 \sim t_3$  구간 : 녹색(green) 신호

그림 7. 신호 교차로에서의 탐지된 차량의 추적 과정 예  
Fig. 7 An example of tracking process for detected vehicles at signalized intersection

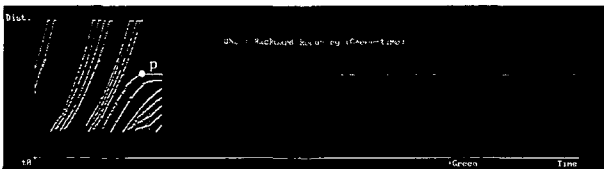
그림 7(a) 좌측 그림에 표시된 흰 점선 사각형  $\square$ 은 개별차량의 전역 추적이 이루어지는 검지영역이다. 흰색 점선 사각형의 윗면에 해당하는 검지 영역의 시작 지점에 차량이 처음 진입하여 아랫면에 해당하는 검지 영역의 끝 지점을 완전히 통과할 때까지 지속적인 개별차량의 전역 추적이 이루어지게 된다.

여기서 사용된 실험용 영상열은 장거리 구간을 포함하기 위해 의도적으로 광역 촬영하였기에 실제 개별차량의 크기가 너무 작게 취득되었다. 이로 인하여 blob 분석(영상내 인접 화소들로 구성되는 영역을 구분하여 물체를 판단)을 하였을 때 개별차량들이 구분되지 않고 여러대가 함께 뭉쳐서 탐지되는 어려운 점이 있었다. 이 문제는 차량의 크기 정보를 바탕으로 일정 기준의 크기를 넘는 차량 blob을 강제 분할하여 해결하였다. 그림 7의 우측 열에 각 단계별 큰 차량 blob들을 강제 분할하는 과정이 나타나 있다. (큰 사각형 blob이 다수 개의 동일한 크기를 갖는 작은 사각형 blob들로 분할되어 있다.)

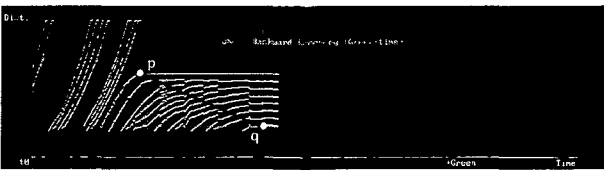
그림 7의 실제 차량 흐름은 상→하 방향으로 진행되고 있으나 이를 거리-시간축으로 표시하면 하→상 방향

으로 나타나는데 좌측하단→우측상단 방향의 단조증가 추세를 보인다.

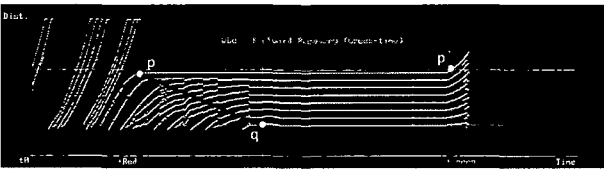
그림 8은 실험 영상열에 대한 거리-시간 다이어그램을 보이고 있는데, 흰색 「●」으로 표시된 부분이 선두/후미의 정지/출발 차량 추출 위치를 나타낸다. 그림 8(a)는 적색 신호 이후 정지선에 멈춘 선두 차량의 위치를  $p$ 에서 탐지했음을 의미하며, 그림 8(b)는 뒤따르는 후미 차량들중 마지막에 정지한 차량의 위치를  $q$ 에서 탐지했음을 보이고 있다. 이 결과를 이용하여 음(negative)의 기울기를 갖는 red-time backward moving 충격파와  $W_{BC}$ 의 속도를 구하였다. 그림 8(c)와 그림 8(d)에서는 녹색 신호 시작에 따라 주행을 시작한 선두 차량을  $p'$ , 마지막 후미 차량을  $q'$ 에서 탐지하여 음의 기울기를 갖는 green-time backward moving 충격파와  $W_{BC}$ 를 계산하였다.



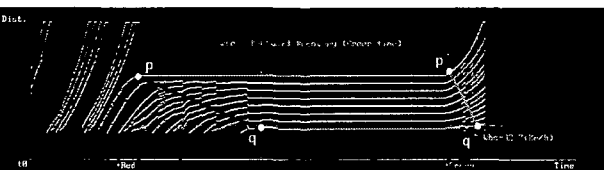
(a) 적색(red) 신호에서의 선두 정지차량 추출 결과



(b) 적색(red) 신호에서의 후미 정지차량 추출 결과



(c) 녹색(green) 신호에서의 선두 출발차량 추출 결과



(d) 녹색(green) 신호에서의 후미 출발차량 추출 결과

그림 8. 적색(red) 및 녹색(green) 신호의 충격파 측정 과정 예  
Fig. 8 An example of shockwave measurement process at red-time and green-time

실험을 통해 자동 측정된  $W_{AB}$ 은 약 7.3km/h이며  $W_{BC}$ 는 약 32.7km/h로 구해졌는데 red-time backward moving 충격파가 green-time backward moving 충격파보다 낮게 측정되었다. 이는 적색 신호시 차량 대기행렬이 형성될 때 뒤따르는 차량 운전자들의 감속 패턴, 그 반대 경우 출발시 가속 패턴을 확인할 수 있는 부분이다.

그림 9(a)에서는 적색 신호가 시작되어 차량 대기행렬이 형성되는 시점에서의 실제 신호 교차로의 차량 통행 장면과 거리-시간 다이어그램을 함께 보이고 있으며, 그림 9(b)는 이후부터 녹색 신호때까지의 모습을 나타내고 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 영상처리를 이용하여 backward moving 충격파와 속도를 자동 측정하는 방법을 제안하였다. 개별차량을 전역추적한 이후 시간 변화에 따라 실제 차량의 이동거리를 계산했으며 이를 바탕으로 거리-시간 다이어그램을 작성하였다. 개별차량의 움직임을 분석하여 신호 주기에 따른 red-time 및 green-time backward moving 충격파 속도를 측정하고 실험 결과 측정치를 보였다.

한편, 충격파와 자동 측정에 관한 시도는 아직 발견된 바 없으며 본 논문이 최초의 시도로 사료된다.

본 논문에서 제안된 충격파와 속도 측정방법을 이용하면 교통류 상태나 차량 진행 방향의 앞막힘 판단을 용이하게 할 수 있으므로 고속도로 램프의 차량 출입통제 및 교차로에서의 신호 제어 자동화에 응용할 수 있다.

측정된 수치의 정확도를 검증하기 위해서는 루프 등이 실측 자료와 비교 연구가 뒤따라야 하나, 이를 위한 장비가 설치 현상이 없으며 실험용 도로영상 취득과정의 어려움 때문에 본 논문에서는 정량적인 정확성 검증 결과에 관한 내용을 제외시켰다. 차후, 기준값(ground truth) 측정을 위한 장비와 여건이 마련되면 정확성 검증에 대한 연구가 뒤따를 예정이다. 본 논문에서는 단일 카메라 입력에 의한 충격파와 속도의 자동 측정 방법을 다루었으나, 다중 카메라에 의한 입력영상 연계 처리를 통해 고속도로 등 교통분석에서 실제 사용되는 장거리(수km~수십km) 구간의 충격파와 속도를 측정할 수 있다. 또한 본 연구를 통해 측정된 backward moving 충격파와 측정 방법을 바탕으로 forward moving 충격파를 측정에 이르기까지 확장하는 후속 연구가 필요하다.

접수일자 : 2002. 4. 20      수정완료 : 2002. 7. 10

## 참고문헌

- [1] 권영탁, 소영성 외 3인, 차량탐지 정보를 이용한 영상검지기의 배경영상 생성 방법, 한국항행학회 논문지, 3권 1호, 1999년 6월, pp.60-68
- [2] 김윤진, 소영성, 영상 처리를 이용한 차량 추출 및 기본 공간교통정보 측정 방법 연구, 공학석사 학위논문, 명지대학교, 2001년 2월
- [3] 권영탁, 소영성, "영상처리를 이용한 공간 교통정보 측정", 한국신호처리시스템학회 논문지, 2(2), 2001.04
- [4] Adolf D. May, Traffic Flow Fundamentals, Prentice-Hall, 1990
- [5] 권영탁, 김윤진, 소영성, "복잡한 교차로에서의 배경영상 생성 방법", 한국신호처리시스템학회 2000 하계종합학술대회 논문집, 2000.08

- [6] 박철홍, 권영탁, 소영성, "모션에너지와 예측을 이용한 실시간 이동물체 추적", 한국항행학회 논문지, 제2권, 제2호, '98.12
- [7] R. M. Inigo, "Application of machine vision to traffic monitoring and control", IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. 38, No. 3, Aug. 1989, pp.112-122

관심분야: 인공지능, 지능형알고리즘



권영탁 (Young-Tak Kwon)

準會員

1987.3~1993.2: 동아대학교 경영정보학과(경영학사)

1994.3~1997.2: 충북대학교 전자계산학과(이학석사)

1997.3~현재: 명지대학교 정보통신공학과(박사과정)



소영성 (Young-Sung Soh)

正會員

1974.3~1978.2: 서울대학교 공업교육학과(공학사)

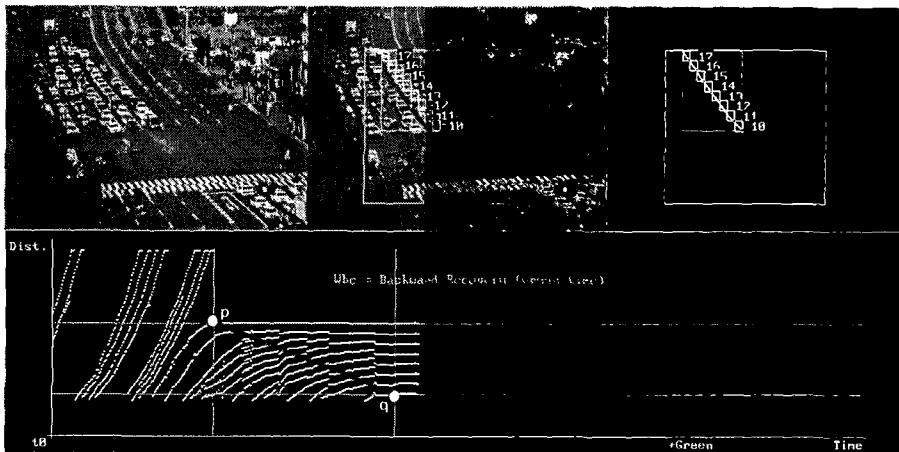
1983.9~1986.8: 미국 Univ. of South Carolina 전산학과 (공학석사)

1986.9~1989.8: 미국 Univ. of South Carolina 전산학과 (공학박사)

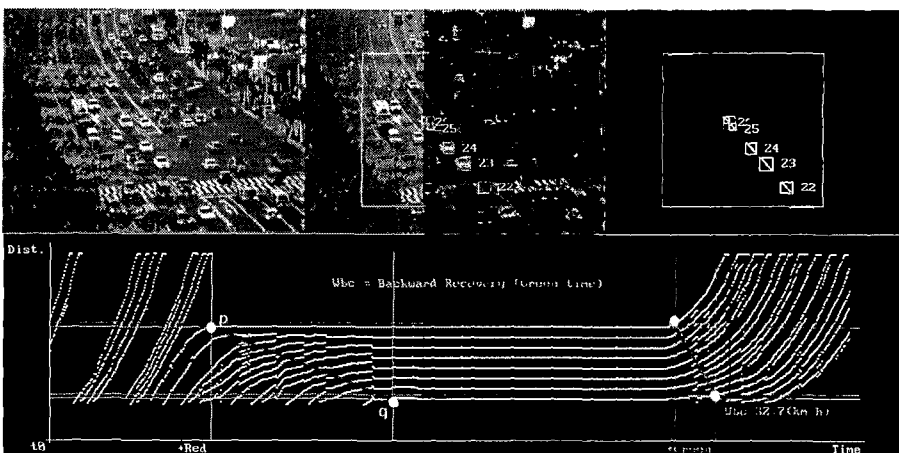
1989.9~1991.8: 시스템공학 연구소 선임연구원

1991.3~현재: 명지대학교 정보공학과 교수

관심분야: 실시간 이동물체추적, 시각검사시스템, 영상기반 교통류 측정, 디지털라이브러리



(a) 적색(red) 신호에서의 거리-시간 다이어그램  
(a) Distance-time diagram in red-time



(b) 적색(red) 및 녹색(green) 신호에서의 backward moving 충격파 속도  
(b) Backward moving shockwave speed in red-time and green-time

그림 9. 충격파 속도 측정을 위한 거리-시간 다이어그램

Fig. 9 Distance-time diagram for determining the shockwave speed