

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.3.87>

JIIBC 2013-3-12

Electronic Toll Collection 운영속도 시뮬레이션

Optimum Speed Simulation for Electronic Toll Collection

신흥권*, 남두희**

Heung-Gweon Sin, Doohee Nam

요약 본 연구에서는 톨게이트에서 하이패스 전용차선 제한속도변경에 따른 톨게이트에서의 교통흐름의 변화와 이에 따른 환경오염에 대한 영향을 비교분석하였다. 톨게이트 시뮬레이션을 위해서 인천톨게이트 자료를 이용하였으며, 다양한 하이패스 전용차선 제한속도에 근거하여 시뮬레이션을 시행하였다. 미시적 시뮬레이션 분석을 위하여 본 연구에서는 Paramics가 사용되었다. 시뮬레이션 실행결과, 현재보다 높은 하이패스 제한속도 (70Km/h)가 기존제한속도 (30Km/h)에 비하여 톨게이트에서 교통류의 흐름에 긍정적인 영향을 미치고 환경적으로도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Abstract This study is to analyze the impacts of different High-Pass lane speed limits. Paramics, microscopic simulation software, was used to perform microscopic simulations. For the simulations, Incheon toll gate traffic count data was used. The Paramics simulation results show that higher High-Pass speed limit (70Km/h) produced better traffic flow condition and less air pollution cost compared to existing High-Pass speed limit (30Km/h).

Key Words : E-ZPass, Hi-Pass, Paramics, Air Pollution Cost, Simulation.

1. 서론

교통시설물 중에서 고속도로의 경우 많은 지체와 혼잡이 일어나는 곳이 톨게이트이다. 차량들이 톨게이트에 접근할 때 먼저 속도를 줄이고 정차하여서 요금정산에 필요한 행위를 하고 다시 속도를 높이는 과정에서 지체와 혼잡이 발생한다. 이러한 톨게이트에서의 지체와 혼잡을 줄이기 위하여 하이패스를 도입함으로써 톨게이트 이용차량 운행속도가 향상되었다. 그러나 2010년 톨게이트에서의 하이패스 차량의 제한속도는 안전상의 이유로 30Km/h로 조정되었다^[1].

현재의 30Km/h 하이패스 전용차선은 미국 북동부에서 많이 쓰이고 있는 고속 이지패스(E-ZPass) 시스템에 비해서 전용차선 이용 시 제한속도가 상대적으로 낮아서 평균통과속도나 처리 교통량이 낮은 편이다. 또한, 환경오염물질 배출량을 고려할 때 고속도로에서 톨게이트 30Km/h 하이패스 전용차선 접근 시와 통과 후에 발생하는 감속과 가속은 정속주행에 비해서 더 많은 오염물질을 배출하기 때문에 이에 대한 대책이 필요한 실정이다.

본 논문에서는 미시적 교통시뮬레이션 모형인 파라믹스(Paramics)를 이용하여 인천톨게이트 네트워크상

*정희원, 서울시립대학교 도시과학연구원

**정희원, 한성대학교 정보시스템공학과 (교신저자)

접수일자 : 2013년 2월 12일, 수정완료 : 2013년 5월 1일

게재확정일자 : 2013년 6월 14일

Received: 12 February 2013 / Revised: 1 May 2013 /

Accepted: 14 June 2013

*Corresponding Author: doohee@hansung.ac.kr

Dept. of Information & System Engineering, Hansung University, Korea

에서 기존 하이패스전용 톨게이트 제한속도와 다양한 하이패스 톨게이트 제한속도에 따른 교통흐름과 대기 오염비용의 변화를 분석하기위한 기초연구로서 기존 하이패스 제한속도보다 높은 제한속도의 경우 교통류 그리고 대기오염비용의 변화를 비교분석하고자 하였다.

본 연구의 구성은 기존연구에 대해서 간략히 살펴보고 Paramics를 이용하여 기존과는 다른 High-Pass 전용차선 제한속도에서의 교통류의 흐름과 대기오염비용의 변화를 분석하여 결론을 제시하고 본 연구의 한계점과 앞으로의 과제에 대해 기술하였다.

본 연구의 공간적 범위는 경인고속도로의 인천톨게이트이며 한국도로공사에서 제공된 시간대별 차종별 자료를 이용하였다.

II. 기존연구

Ozmen-Ertekin 등(2008)은 톨게이트분석을 위하여 거시적 모형과 미시적 모형을 개발하였고 이 두 가지 방법을 실제자료를 이용하여 비교분석하였다. 미시적 모형은 Paramics를 이용하여 개발하였다. 미시적 모형에 비하여 상대적으로 단순한 거시적 모형은 평가사업이 시간이 많지 않고 사업비용이 충분치 않을 경우 톨게이트에서의 지체를 계산하는데 이용될 수 있다고 주장하였으며, 이 두 가지 모형을 미국 뉴저지에 있는 여러 톨게이트 자료를 이용하여 검증한 결과 개발된 거시 모형이 유용성이 있는 것으로 분석결과를 제시하였다^[5].

이성관 등(2010)은 고속도로 영업소에서 하이패스차로이용과 일반차로를 이용하는 경우를 실험차량을 이용하여 고속도로 영업소 이용방식에 따른 연료소모량을 비교하였다. 실험 결과, 일반차로를 이용하는 차량이 하이패스차로를 이용하는 차량보다 36.7%이상의 추가적인 연료소모가 발생하는 것으로 분석하였으며 이를 근거로 하여서 고속도로 상에서 2009년 1월부터 5월까지 실험차량과 동일한 차량들의 하이패스차로 이용에 의한 연료절감 효과를 추정해 본 결과 약 53.4억원의 연료소모비 절감효과가 있는 것으로 분석하였다^[3].

Saka 등(2002)은 미국 볼티모어지역의 세 곳의 주요 톨게이트를 대상으로 자동차로 인한 이동오염물질(Mobile Emissions)에 대한 전자통행료 징수시스템의 효과를 분석하였다. 효과적도로는 탄화수소(Hydrocarbon), 일산

화탄소(Carbon monoxide), 산화질소(Nitrogen oxide)를 사용하였고 첨두시간대에 대하여 분석하였다. 분석 결과 전자통행료 징수시스템(M-Tag)의 시장점유율이 50%정도일 때 탄화수소와 일산화탄소는 40퍼센트에서 63퍼센트 그리고 산화질소는 16퍼센트가 줄어드는 것으로 추정되었다^[6].

III. 미시적 시뮬레이션 모형 분석

기존 하이패스전용 톨게이트 제한속도와 다양한 하이패스 톨게이트 제한속도에서의 교통흐름과 대기오염비용의 차이를 비교분석하기 위하여 톨게이트에서의 하이패스 전용차선 제한속도를 30Km/h(기존속도), 70Km/h, 90Km/h등 세 가지 경우로 분류하여 시뮬레이션 분석을 시행하였다. 위에서 언급된 70Km/h와 90Km/h의 제한속도는 미국 북동부에서 현재 시행 중인 고속 이지패스(E-ZPass) 제한속도 45mph(약 70Km/h)와 55mph(약 90Km/h)를 참조하여서 설정되었다. 이러한 각기 다른 톨게이트 하이패스 제한속도에 대하여서 인천톨게이트에서 관측된 교통량을 이용하여 파라믹스 시뮬레이션을 시행하였다.

본 연구에서 사용 된 시뮬레이션 소프트웨어는 ITS(Intelligent Transportation Systems) 전략효과분석에 널리 이용되고 있는 Paramics를 이용하였다^[7]. Paramics 네트워크 구축을 위해서 인터넷 위성지도를 이용하였으며 Paramics 시뮬레이션을 위한 통행수요는 2012년도 인천 톨게이트 시간대별 입출구 통행량자료를 이용하였다. Paramics 시뮬레이션에서는 일반 톨게이트 제한속도는 고정되어 있다고 가정하였으며 하이패스전용차선의 세 가지 제한속도에 대하여 시뮬레이션을 시행하였다. 그리고 각 세 가지 제한속도에 대한 시뮬레이션 결과를 기초로 하여서 교통류에 대한 효과적도와 환경 효과적도를 산출하였다.

교통류에 대한 효과적도로는 네트워크 평균주행속도, 톨게이트에서의 방향별 통과차량대수와 평균주행속도를 비교하였다. 환경효과적도의 분석을 위해서는 국토해양부(2011) 교통시설 투자평가지침 제4차 개정판에 있는 차종별·속도별 대기오염비용을 이용하였다. 본 연구에서 대기오염비용 산정 시 고려 된 환경오염물질은 이산화탄소(CO₂), 탄화수소(HC), 질소산화물(NO_x)이다.

대기오염비용은 표 1에 있는 차종별·속도별 대기오염비용을 이용하여 다음과 같이 산정되었다.

$$VOPC = \sum_l \sum_{k=1}^3 (D_{lk} \times VT_k)$$

VOPC: 대기오염비용

D_{lk} : 링크별(l), 차종별(k) 대·km

VT_k : 차종별(k) 주행속도의 km 당 대기오염비용

k : 차종(1=승용차, 2=버스, 3=화물차)

표 1과 그림 1에서 보는바와 같이 승용차에 대한 탄화수소비용은 주행속도가 증가함에 따라 계속 감소하는 경향을 보인다^[23].

표 1. 차종별 속도별 대기오염비용 (단위: 원/km)
Table 1. Air Pollution Cost by Vehicle Type and Speed

차종	속도	NOx	HC	CO2
승용차	10	7.9156	7.617	56.07
	20	4.883	5.304	37.456
	30	3.6905	4.698	29.579
	40	3.0326	4.431	25.017
	50	2.6214	4.287	21.972
	60	2.3233	4.205	19.755
	70	2.2102	4.143	19.121
	80	2.2308	4.091	19.519
	90	2.2822	4.071	20.648
	100	2.3438	4.05	22.499
중형트럭	10	95.82	28.53	176.86
	20	63.931	17.69	119.77
	30	50.454	13.37	95.775
	40	42.652	10.97	83.831
	50	37.45	9.406	78.042
	60	33.657	8.286	76.374
	70	30.758	7.453	78.311
	80	28.465	6.795	84.455
	90	26.574	6.281	97.001
	100	24.98	5.829	122.33
대형트럭	10	235.37	31.45	315.59
	20	180.8	20.18	238.83
	30	154.95	15.55	199.26
	40	138.89	12.94	176.59
	50	127.57	11.22	163.4
	60	119.03	9.982	156.49
	70	112.25	9.036	154.48
	80	106.69	8.296	157
	90	102.01	7.689	164.51
	100	98.01	7.196	178.55

그러나 이산화탄소와 질소화합물비용의 경우에는 70Km/h까지는 주행속도가 올라감에 따라서 계속 감소하다가 70Km/h 이후에는 다시 증가하는 추세를 보이고 있다. 중형트럭의 경우에는 탄화수소와 질소화합물비용은 주행속도증가와 함께 계속 감소하나 이산화탄소비용은 60Km/h까지는 감소하다가 60Km/h이상에서는 다시 증가하는 추세를 보인다. 대형트럭은 중형트럭과 비슷한 비용추세를 보이나 이산화탄소비용의 경우 70Km/h까지는 속도증가에 따라 감소하다가 70Km/h이상에서는 다시 증가하는 추세를 보인다.

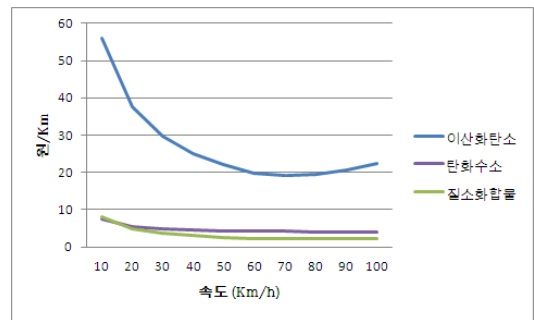


그림 1. 속도별 대기오염비용(승용차)
Fig. 1. Air Pollution Cost (Passenger Car)

그림 2는 한국도로공사에서 제공된 인천톨게이트 시간대별 교통량자료이다. 인천 톨게이트 교통량자료 그래프를 보면 아침 7시와 8시 그리고 오후 6시와 7시에 각각 오전 첨두와 오후 첨두 교통량이 관측되었다.

본 연구에서는 아침 첨두시간 7시부터 8시까지에 대하여 시뮬레이션을 시행하였다. 표 2에서와 같이 인천 톨게이트에서 오전 7시부터 오전 8시 사이의 출구교통량은 4882대 그리고 입구교통량은 4507대로 관측되었다. 인천톨게이트자료에 따르면 승용차 비율이 90%이상이므로 차종별·속도별 대기오염비용 산출은 승용차를 기준으로 하여 계산하였다.

표 1의 차종별·속도별 대기오염비용 자료를 기반으로 하여서 시뮬레이션에서 산출된 연구대상지역 평균 속도에 따른 대기오염비용을 내삽법으로 산출하였다.

표 3은 오전첨두시간대의 네트워크 전체에 대한 하이패스 제한속도 변화에 따른 대기오염비용을 보여주고 있다. 시뮬레이션결과는 하이패스제한속도가 올라감에 따라서 네트워크 전체의 평균속도, VKT, 이산화탄

소비용은 증가함을 알 수 있다.

그러나 질소산화물비용의 경우에는 하이패스제한속도가 70Km/h인 경우 기존 하이패스 제한속도의 경우보다 질소산화물이 약간 줄었지만 90Km/h인 경우에는 조금 더 증가한 것으로 나타났다.

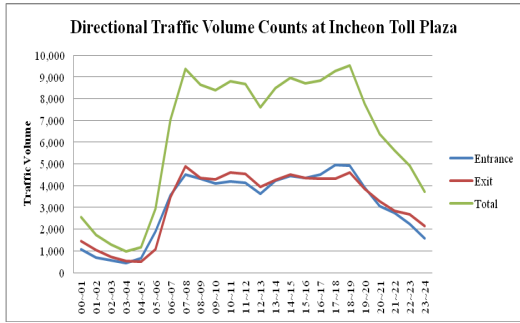


그림 2. 인천 톨게이트 시간대별 입출구 교통량 (3/28/2012)

Fig. 2. Directional Traffic Volume Counts at Incheon Toll Gate

표 2. 인천 톨게이트 시간대별 입출구 교통량

Table 2. Directional Volume at Incheon Toll Gate

시간대	입구	출구	소계
00~01	1,089	1,456	2,545
01~02	710	1,029	1,739
02~03	563	718	1,281
03~04	446	535	981
04~05	659	513	1,172
05~06	1,883	1,063	2,946
06~07	3,562	3,487	7,049
07~08	4,507	4,882	9,389
08~09	4,317	4,342	8,659
09~10	4,090	4,294	8,384
10~11	4,197	4,623	8,820
11~12	4,138	4,549	8,687
12~13	3,638	3,954	7,592
13~14	4,224	4,259	8,483
14~15	4,459	4,507	8,966
15~16	4,351	4,357	8,708
16~17	4,526	4,317	8,843
17~18	4,953	4,336	9,289
18~19	4,923	4,600	9,523
19~20	3,911	3,863	7,774
20~21	3,071	3,290	6,361
21~22	2,751	2,854	5,605
22~23	2,241	2,678	4,919
23~24	1,583	2,134	3,717
합계	74,792	76,640	151,432

표 3. 대기오염비용 (오전 7시 - 오전 8시) (단위: 천원)
Table 3. Air Pollution Cost (7AM - 8AM)

제한 속도	평균 속도	VKT (Vehicle Kilometers Traveled)	CO ₂ 비용	NO _x 비용	SO 비용
30KM	63.24	67821	1326	155	284
70KM	72.59	69663	1339	154	288
90KM	75.34	69872	1351	155	288

표 4는 톨게이트에서의 하이패스 제한속도별 대기오염비용을 24시간으로 환산한 결과를 보여주고 있다. 다양한 하이패스 제한속도에서의 톨게이트 시뮬레이션 결과를 톨게이트에서 방향별 통과차량대수와 평균주행속도로 정리한 결과는 표 5와 같다

표 4. 24시간 대기오염비용 (단위:천원)

Table 4. 24 Hours Air Pollution Cost

제한속도	평균속도	VKT	CO ₂ 비용	NO _x 비용	SO 비용
30KM	63.2	1130362	22098	2585	4730
70KM	72.6	1161055	22320	2572	4795
90KM	75.3	1164548	22515	2586	4792

표 5. 방향별 통과차량대수와 평균주행속도

Table 5. Directional Traffic Volume Count and Average Travel Speed at Toll Plaza

하이패스 제한속도	방향	통과차량대수	평균주행속도 (Km/h)
30 Km/h	하이패스출구	2438	25
	일반출구	2102	14
	출구소계	4540	
	하이패스입구	2576	24
	일반입구	1399	16
70 Km/h	하이패스출구	2451	58
	일반출구	2143	14
	출구소계	4594	
	하이패스입구	2623	58
	일반입구	1560	14
90 Km/h	하이패스출구	2418	70
	일반출구	2155	14
	출구소계	4573	
	하이패스입구	2743	68
	일반입구	1463	15
	입구소계	4206	

통과차량대수의 경우 하이패스 제한속도가 70Km/h, 90Km/h 인 경우 기존보다 3%정도 증가하였고 하이패스출구 평균주행속도의 경우에는 70Km/h일 때 기존 평

균주행속도에 비해서 138% 정도 높아졌으며 90Km/h일 때는 185% 정도 높은 것으로 추정되었다.

일반출구의 경우에는 현재 하이패스 제한속도와 하이패스 제한속도가 70Km/h 이상인 조건하에서의 평균 주행속도가 별 차이가 없는 것으로 나타났다.

IV. 결론 및 향후 과제

본 연구는 톨게이트에서의 하이패스 전용차선 제한속도 조정에 따른 교통흐름과 대기오염비용의 변화를 분석하기 위한 기초연구로서 기존 하이패스 제한속도보다 높은 제한속도의 경우 교통류 그리고 대기오염비용의 변화를 검토하는 것이 연구목적이다. 이 연구를 위하여 연구대상 톨게이트를 선정하고 다양한 하이패스 제한속도에 대하여 미시적 시뮬레이션을 시행하였다. 연구 결과는 다음과 같이 정리될 수 있다.

첫째, 하이패스 제한속도가 올라감에 따라서 네트워크 전체의 평균속도, 이산화탄소비용은 증가하였으나 질소산화물비용의 경우에는 하이패스 제한속도가 70Km/h인 경우 기존 하이패스 제한속도의 경우보다 질소산화물이 약간 줄어든 것으로 나타났다.

둘째, 다양한 하이패스 제한속도에서의 톨게이트 시뮬레이션 결과를 톨게이트에서 방향별로 통과차량대수와 평균주행속도를 분석한 결과 통과차량대수의 경우 하이패스 제한속도가 70 Km/h 이상인 경우 기존보다 통과차량대수가 3%정도 증가하였고 톨게이트에서의 하이패스출구의 경우 평균주행속도는 하이패스 제한속도가 70Km/h일 때 58Km/h이고, 90Km/h일 때는 70Km/h 정도로 분석되었다.

향후 연구방향 및 과제는 다음과 같다. 본 연구에서는 여러 가지 제약으로 인하여 분석하지 못하였던 부분들이 있었다. 하이패스 제한속도 변화에 따른 환경영향을 분석하기 위해서 대기오염비용이 사용되었다. 그러나 대기오염비용의 분석결과에서 나타난 바와 같이 대기오염비용의 변화가 현저하지 않은 것으로 나타났다. 만

일 환경비용이 아니라 주요 환경오염물질의 배출량을 더욱 세분화 된 자료와 식을 가지고서 분석한다면 보다 분별력이 있는 결과가 나올 것으로 예상된다. 그리고 보다 정확한 분석을 위해서는 다른 효과척도를 이용하여서 시뮬레이션 결과를 분석하는 것이 필요하다고 사료된다. 즉, 하이패스 제한속도 변화에 따른 연구대상지역에서의 교통사고율의 변화와 소음도의 변화도 분석하는 것이 필요하다. 또한 더욱 정확한 톨게이트 시뮬레이션을 위해서는 Paramics에서 기본적으로 제공되는 함수나 기능 외에 더욱 세밀한 기능과 함수를 이용하여 분석하는 것이 앞으로의 연구에서 필요하다고 사료된다.

References

- [1] KDDI, Problems and Modifications of Hipass Operation, 2012. 5
- [2] MOCT, Guidelines of Investment for SOC, 4th Edition, 2011. 10.
- [3] Seungwan Lee et al, "Fuel Efficiency from Highpass System" Journal of KITS, Vol9, No 3, pp.59-66, 2010. 6.
- [4] Korea Highway Corporation. 2009 Bulletin
- [5] D. Ozmen-Ertekin, K. Ozbay, S. Mudigonda, and A. M. Cochran, "Simple approach to estimating changes in toll plaza delays," Transportation Research Record, vol. 2047, pp.66-74, Sept. 2008.
- [6] A. A. Saka, and D. K. Agboh, "Assessment of the Impact of Electronic Toll Collection on Mobile Emissions in the Baltimore Metropolitan Area," National Transportation Center, Morgan State University, Feb. 2002.
- [7] Joohwan Kim, Doohee Nam, "Bird Eye View Service under Ubiquitous Sensor Network Environments", JIIBC, Vol.13, No.2, pp225-231

※ This research was financially supported by Hansung University for Doohee Nam. Also, This work was supported by the National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government (NRF-2012S1A5B8A03045234) for Heung Gweon Sin

저자 소개

신 흥 권(정회원)



• Virginia Tech 공학박사
• 경력
AECOM, Senior Transportation Engineer
Parsons, Transportation Engineer
<주관심분야: ITS기술, 모델링, 통방용
합기술>

남 두 희(정회원)



• Univ. of Washington 공학박사
• 경력
미국 워싱턴주 교통계획 감독관
한국교통연구원 책임연구원
<주관심분야: ITS기술, U-City, 통방용
합기술>