

Connected Vehicle을 이용한 Smart Roundabout의 개발과 평가

김회경* · 이영빈** · 윤철용*** · 오윤표****

Kim, Hoe Kyoung*, Lee, Young Bin**, Yoon, Chil Yong***, Oh, Yun Pyo****

Development and Evaluation of Smart Roundabout Using Connected Vehicle

ABSTRACT

Modern roundabouts referred to as relatively safer and more efficient traffic facility than the signalized intersections have been recently deployed and operated and accordingly more research efforts to improve its safety and efficiency have been made so far. This paper introduces a new traffic information system named as Smart Roundabout coupled with Connected Vehicle technique like Vehicle-to-Roadside communication, which has not been attempted before and evaluates its performance with a microscopic simulation model, VISSIM. The proposed system functions to collect driving information of circulating vehicles in the roundabout such as location, speed, critical headway, etc. and help approaching vehicles decide whether to enter the roundabout with an on-board equipment instrumented in the individual vehicle on the basis of calculated gap acceptance of interest. This new system is expected to secure more safety and increase the capacity of the modern roundabout.

Key words : Roundabout, Connected vehicle, Critical gap, Microscopic simulation, Advanced traveler information system

초록

기존의 신호교차로에 비해 상대적으로 효율적이고 안전한 것으로 평가되고 있는 회전교차로(roundabout)가 최근 전국적으로 설치·운영 중에 있으며 이에 따라 회전교차로의 효율성과 안전성을 개선하기 위한 다양한 연구가 수행 중에 있다. 본 연구에서는 현재까지 시도된 적이 없는 회전교차로와 커넥티드 차량(connected vehicle) 기법의 접목을 통해 Smart Roundabout이라는 새로운 개념의 첨단교통정보시스템을 개발하고 미시적 시뮬레이션을 이용하여 평가하고자 한다. Smart Roundabout은 교차로를 회전하는 차량에 장착된 단말기(on-board equipment, OBE)를 통해 차량들의 주행정보(위치, 속도, 차두시간 등)를 커넥티드 차량(connected vehicle) 기법을 통해 전달받고 회전교차로에 접근하는 차량 내부의 단말기를 통해 교차로 진입에 대한 상황판단을 도와 안전성을 확보함과 동시에 보다 짧은 차두시간(critical headway)을 구현하여 회전교차로의 용량을 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다.

검색어 : 회전교차로, 커넥티드 차량, 임계간격, 미시적 시뮬레이션 모델, 첨단교통정보시스템

* 정회원 · 동아대학교 도시계획학과 조교수 (hoekim@dau.ac.kr)

** 정회원 · 도로교통공단 과장 (wind-is-die@hanmail.net)

*** (주)이온이엔지 대표이사 (pha2020@hanmail.net)

**** 교신저자 · 동아대학교 도시계획학과 교수 (Corresponding Author · Dong-A University · ypoh@dau.ac.kr)

Received October 8, 2013/ revised October 29, 2013/ accepted November 12, 2013

1. 서론

기존의 신호교차로에 비해 상대적으로 더 효율적이고 안전한 것으로 평가되고 있는 회전교차로(roundabout)가 전국적으로 설치·운영 중에 있다. 회전교차로의 효율성을 개선하고 안전성을 확보하기 위해서 다양한 연구가 진행 중에 있으며 회전교차로 내에서 주행 중인 차량들 간의 차두시간(critical headway)과 회전교차로에 진입하는 차량과 현재 회전 중인 차량 간의 차두시간(follow-up headway)을 통해서 회전교차로의 효율성(용량)의 평가가 가능하다. 기존의 연구에서 제시하고 있는 현장조사 자료 분석 결과에 의하면 두 차두시간에는 평균이나 분산과 같은 확률적인 분포를 가지며 곳에 따라 용량의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 또한 최근 급속하게 보급되고 있는 커넥티드 차량(connected vehicle) 기술을 이용한 교통안전과 효율성 개선을 목적으로 한 다양한 시스템들이 개발 중에 있으며 가까운 미래에 실용화가 가능하리라 기대된다.

본 연구에서는 커넥티드 차량(connected vehicle) 기술을 통해 회전교차로를 주행하거나 접근하는 차량들의 주행정보(위치, 속도, 차두시간 등)를 수집하고 회전교차로 진입을 위한 최적의 차두시간을 산정한 후 회전교차로 접근 차량에 설치된 단말기를 통해 교차로 진입에 대한 운전자의 의사결정을 도와 보다 안전하고 짧은 진입차두시간을 구현함과 동시에 진입차두시간의 분산을 줄여 회전교차로의 용량 증가 효과를 관찰하고자 한다.

또한 현장 관측을 통한 다수의 기존 연구 결과에 의하면 한국에서 운영되고 있는 회전교차로의 용량은 교통선진국의 회전교차로 용량보다 큰 것으로 관측되고 있는데, 그 주된 원인은 회전교차로가 소개된 시기가 오래되지 않아 회전교차로의 기본적인 운영방식(회전차량이 통행 우선권을 가지고 접근차량이 양보한 후 교차로에 진입하는 방식)이 아직 안정적으로 정착되지 못해 회전차량 간의 좁은 차두간격에 무리하게 진입하기 때문으로 알려지고 있으며 이런 경우 사고의 위험이 상당히 높을 것으로 판단된다. 이에 따라 본 연구에서 제안하고 있는 Smart Roundabout은 최적의 임계간격을 산정하고 커넥티드 차량(connected vehicle) 기법을 통해 운전자에게 전달함으로써 효율적이고 안전한 회전교차로의 운영을 도모하고자 한다.

따라서 본 연구의 목적은 현재까지 시도해보지 못한 회전교차로와 커넥티드 차량(connected vehicle) 기술의 접목을 통해 회전교차로로 접근하는 운전자에게 회전교차로 진입에 대한 정보를 제공하여 사고의 위험을 감소시키고 교차로의 용량을 제고할 수 있는 Smart Roundabout이라는 새로운 개념의 첨단교통정보시스템을 개발하고 평가하는 것이다.

2. 선행연구 고찰

본 장에서는 다양한 관점에서 신호교차로와 회전교차로의 차이를 인식하고 회전교차로 임계간격에 관한 기존의 연구를 개관한 후 커넥티드 차량(connected vehicle) 기술을 이용해 구현 중인 차량의 이동성과 안전성에 대한 연구까지 참고문헌을 통해 살펴보고자 한다.

기존의 신호교차로와 비교하여 회전교차로의 도입으로 인해 기대되는 일반적인 효과는 다음과 같이 크게 세 가지(안전, 운영, 환경)로 정리할 수 있다. 첫째는 자동차 간 혹은 자동차와 보행자 간 상충지점을 크게 줄일 수 있으며 중앙의 교통섬에 의한 지속주행을 유도함으로써 교통안전성 개선효과이며, 둘째는 각 접근로에서 동시에 진입이 가능하며 야간에 불필요한 신호대기에 의한 지체를 없앴으로써 교통소통의 개선효과, 즉 교통용량 증대의 효과이며, 셋째는 정지 및 대기 후 출발횟수의 감소로 에너지 소비와 온실가스 배출량을 감소시키는 환경적인 효과가 있다(Son et al., 2011).

2.1 회전교차로 임계간격

회전교차로를 접근하는 차량들은 안전한 교차로 진입을 위하여 회전하는 차량들 간의 간격을 이용하게 되는데 이에 대한 다양한 연구들이 국내외에서 수행되고 있다.

Son and Jun (1999)은 회전교차로 3개소 7개 지점에서 비디오 촬영으로 수집한 데이터를 근거로 로짓모형을 이용하여 간격수락 모형과 진입차량 지체모형을 개발하였으며 회전 차량의 간격 길이가 14초 정도일 경우 대부분의 접근 차량이 진입하는 것으로 결론지었다. 회전 차량의 간격 길이와 지체시간 간의 관계를 통해서 회전 교통류의 간격이 충분히 길다고 하더라도 회전교차로에 진입하는 모든 차량들은 어느 정도 지체시간을 경험하는 것으로 분석하였다.

Kim et al. (2012)은 국내 20개 회전교차로를 대상으로 비디오 촬영으로 수집한 데이터를 분석하여 교차로 접근차량의 진입이 이루어진 수락간격과 진입이 이루어지지 않은 거절간격 분포를 통해 두 분포가 만나는 지점, 즉 임계간격을 2.58초로 분석하고 이를 도시지역과 지방지역을 구분하여 2.74초 그리고 2.58초를 각각 도출하였다.

Lee et al. (2010)은 미국 도로용량편람에서는 회전교차로의 용량산정에 사용되는 중요한 변수인 임계간격을 동일한 값으로 사용하고 있다는 문제점을 지적하고 비디오 촬영을 통한 현장 관측자료를 이용하여 회전교차로 용량산정에 사용할 수 있는 차종별 중차량 보정계수를 산정하였다. 이 연구를 통해 연구자들은 승용차, 트럭, 그리고 버스에 대한 임계간격을 각각 6.28초, 8.31초, 그리고 9.28초로 추정하였다.

Kim and Ji (2009)은 회전교차로에서 서비스수준의 기준을 설립하기 위한 연구에서 효과적도로는 진입교통량, v/c, 그리고 평균 차량지체를 선정하고 VISSIM을 이용하여 개별 효과적도에 대한 서비스수준을 산정하였다. 하지만 그들의 연구에서는 미국 도로용량편람이나 한국도로용량편람 양방향정지 교차로 분석에서 사용되는 일정한 임계간격 값(4.4초)을 차용하였다.

Ahn et al. (2011)은 회전교차로를 접근하는 교통량이 증가하면서 접근로별 교통류가 불균등해질 경우 주접근로를 통한 진입이 어려워져 회전교차로의 효율이 떨어지게 되는 문제점을 개선하기 위하여 주접근로의 상류부에 검지기를 설치하여 이 접근로에 정체가 감지되면 부접근로의 차량진입을 신호미터링(signal metering)으로 통제함으로써 회전차량들의 임계간격을 늘려 주접근로 차량의 회전교차로 진입을 원활하게 처리하여 교차로 전체의 소통을 개선하고자 하였다.

Jeon and Doh (2003)은 네 개의 회전교차로에서 비디오촬영을 통해 수집된 자료와 다양한 기하구조(진입차로 폭, 회전차로 폭, 중앙섬 직경, 외접직경)와 관계를 통계분석하여 회전교차로 진입용량 모형을 개발하였다. 그들의 연구에서 도출된 진입용량은 외국의 경우보다 더 큰 값을 나타내고 있는데 이는 한국의 운전자가 충분한 수락간격을 확보하지 않은 상태에서 진입을 시도하고 회전교차로의 회전차량 우선권 원칙을 무시함으로써 진입용량이 상대적으로 커지는 현상으로 분석하였다.

Lee (2012)은 또한 전국을 대상으로 41개 회전교차로를 대상으로 비디오촬영을 시행하고 임계간격을 도출하였는데, 미국 도로용량편람에서 제시하고 있는 값보다 상당히 작은 것으로 나타났으며 이는 최근 국내에 새롭게 소개된 평면 교차로에 대한 운전자의 인지도가 부족하기 때문으로 해석된다.

추가로 Xu and Zong(2008)은 캘리포니아에 위치한 10개의 회전교차로를 대상으로 임계간격을 조사한 결과, 1차로형 회전교차로는 4.8초 그리고 2차로형 회전교차로에서는 안쪽 차로는 4.7초 그리고 바깥쪽 차로는 4.4초로 관측되었으며, 임계간격에 가장 영향을 미치는 요소는 회전차량의 교통량과 속도인 것으로 밝혀내었다.

2.2 커넥티드 차량(connected vehicle) 기술이 이용한 교통시스템

커넥티드 차량(connected vehicle) 기술은 ITS 구현의 수단으로 사용되고 있으며 일반적으로 차량과 노변기지국(V2R) 혹은 차량간(V2V)의 무선통신을 이용하여 동적경로안내시스템과 같은 첨단 교통정보시스템이나 차량들의 안전을 도모하는 다양한 시스템에 접목되어 활용되고 있다. 또한 커넥티드 차량(connected vehicle) 기술은 ITS 구현수단이라는 개념을 넘어서 차량내부의 인터넷서비스를 통한 유비쿼터스 환경 조성을 위한 핵심 요소로 간주되고 있다.

Table 1. Traffic Safety Systems with V2V

System	Concept
Emergency Stop Lamp Warning	Propagating urgent braking event to neighboring vehicles
Forward Collision Warning	Issuing message to warn forward collision
Intersection Movement Assist	Issuing message to warn possible collision when entering intersection
Blind Spot and Lane Change Warning	Issuing message when vehicles exist in the blind spot
Do Not Pass Warning	Issuing message to warn that vehicles are on the opposite direction when trying to pass
Control Loss Warning	Propagating warning message to neighboring vehicles when losing control under emergent situation

Yang (2012) 그리고 Yoon and Kim (2012)는 Table 1에서 현재 미국 교통성에서 연구 개발과 평가가 진행 중인 V2V를 이용한 교통안전 시스템들을 소개하고 있으며 미시간 주 앤아버(Ann Arbor)시에서는 Safety Pilot Model Deployment라는 프로젝트 명으로 약 3,000대의 승용차, 버스, 트럭과 노변 시설물을 동원하여 커넥티드 차량(connected vehicle) 기술의 효과를 분석 중에 있다.

Kim et al. (2011), Lim and Jung (2011) 그리고 Chun and Hoe (2009)은 자동차와 첨단 IT 분야를 융합하여 자동차를 인터넷 네트워크의 단말기로 활용하고 이에 요구되는 사용자 인터페이스를 개발하는 연구를 소개하고 있으며 이를 위해 현재 자동차 제조사와 IT업체 그리고 소프트웨어업체 간의 제휴가 전략적으로 추진 중에 있다.

선행연구에서도 지적된 바와 같이, 회전교차로의 새로운 운영형식에 익숙하지 않은 운전자들은 어느 상황에 통행우선권을 부여받는지 판단하기가 곤란하고 또한 무리한 회전교차로 진입으로 인해서 임계간격이 짧아져 용량이 개선되는 효과는 있지만 사고의 위험에 노출되어 있는 상황이다. 따라서 본 연구는 운전자 스스로가 회전교차로 진입여부를 판단하기 보다는 본 연구에서 제안하는 V2R 통신을 이용한 신교통시스템의 도움을 받아 안전한 교차로 진입과 효율적인 운영을 도모하고자 한다.

3. 현장관측과 Smart Roundabout의 개발

3.1 현장자료를 통한 진입수락간격의 분포

본 연구에서는 시뮬레이션기법을 통해 Smart Roundabout의 효율성을 검증하기에 앞서 비디오촬영을 통해 수집된 현장자료의 실제 진입수락간격의 분포를 분석하였다.

부산광역시 강서구에 위치한 차량등록사업소 주변과 부산광역시 남구 용호동의 늘빛교회 주변의 두 회전교차로를 연구대상지로

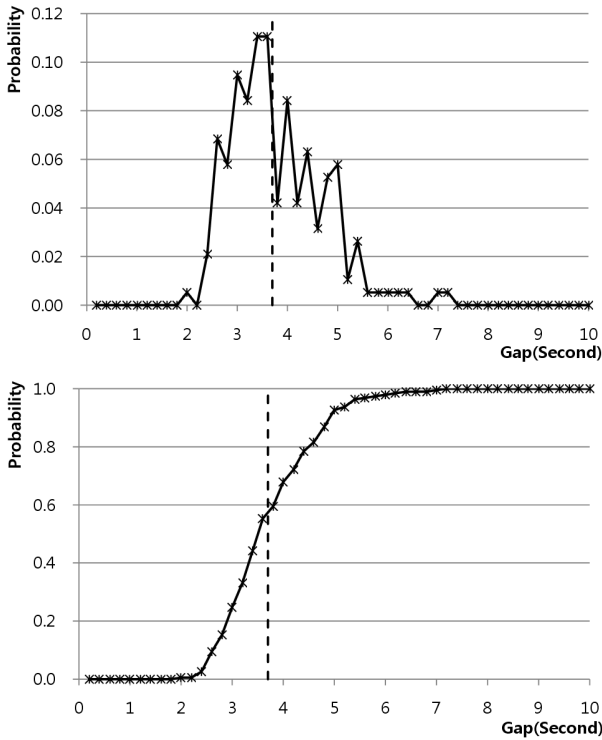


Fig. 1. Distribution of Gap Acceptance Measured in the Field (PDF and CDF)

선정하여 2013년 3월 13일과 14일(수요일과 목요일) 오전 7시부터 오후 1시까지 각 회전교차로별 두 대의 비디오카메라를 설치하여 회전교차로 접근차량들의 진입상황을 촬영하고 평균 진입수락간격을 산정하였다. 선행연구에서 지적한 바와 같이 회전교차로의 통행 우선권에 대해 인지하지 못하는 운전자와 교통수요의 부족으로 해당 회전교차로에서 임계간격을 이용해서 진입하는 경우는 170건이 관찰되었으며 Fig. 1을 통해 진입수락간격에 따른 진입차량의 확률밀도분포와 누적밀도분포를 확인할 수 있었다. 평균 진입수락간격(일점쇄선)은 3.70초이며 표준편차는 0.92초로 분석되었다.

3.2 Smart Roundabout의 개발

본 연구에서는 기하구조가 불량한 교차로를 접근하는 차량들의 궤적을 추적하고 사각에 위치한 차량들의 접근을 미리 알려주거나 혹은 충분한 안전시거가 확보되지 않은 접근로의 하류부 지점에서 사고발생시 사고지점으로 접근하는 차량들에게 위험상황을 사전에 알려줌으로써 이차사고의 위험을 줄여주는 교통시스템들이 개발 중이며 가까운 미래에 실용화 될 것으로 기대된다. 고속의 접근차량에 대해서 실시간에 가까운 신속하고 정확한 정보전달이 가능해야 하기 때문에 이러한 교통정보의 수집, 가공, 전달에 소요되는 시간은 최소화되어야 한다. 사고 발생의 인지, 사고의 심각성 파악, 그리고 최대한 광범위한 상류부의 접근차량으로의 정보전달 등이 신속하

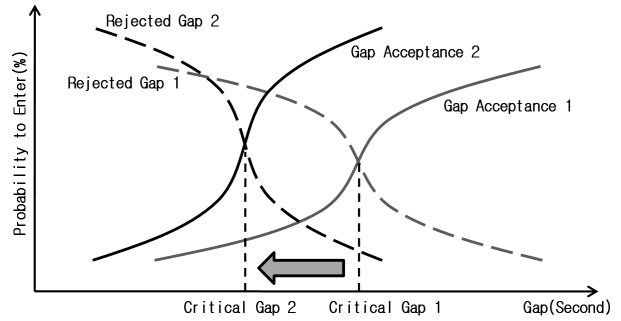


Fig. 2. Concept of Critical Gap in Smart Roundabout

게 이루어지기 위해서는 교통관제센터와 같은 원격의 교통시설을 통하지 않고 현장에 설치된 노변기지국, 예를 들면, 신호제어기박스에 관련 장치(접근차량 위치추적 장치, 개별 차량들의 실시간 운행 상황 파악을 위한 강력한 전산시스템, 추출된 유의미한 교통정보 전달을 위한 통신장비 등)들을 탑재함으로써 앞서 언급한 교통안전의 개선에 기여할 것이다. 특히 추출된 교통상황정보는 일차적으로 노변기지국으로부터 제일 근접한 차량들에게 V2R 형식으로 전달되며 이 정보는 다시 해당 차량에서 상류부의 또 다른 차량으로 V2V 형식으로 전달되어야 한다. 이러한 교통안전시스템은 첨단교통정보시스템(Advanced Traveler Information System, ATIS)과는 달리 정보전달의 지체시간이 최소화되어야 한다.

본 연구에서는 커넥티드 차량(connected vehicle) 기법을 이용한 교통안전시스템에서 사용되는 다양한 장비들을 회전교차로에 접목하여 교차로의 효율, 즉 교차로의 용량을 개선하는 Smart Roundabout이라는 시스템을 소개하고 미시적 시뮬레이션모델을 통해서 개념입증연구(proof-of-concept)를 수행하고자 한다. 시스템의 기본적인 개념은 다음과 같다.

- Step 1. 회전교차로의 교통섬에 설치된 노변기지국(roadside equipment, RSE)을 통해 회전교차로 내 주행 혹은 접근하는 차량들의 주행정보(위치, 속도, 차두시간 등)를 실시간으로 수집한다.
- Step 2. 회전교차로 내에서 인접 주행 차량들 간의 차두시간을 계산한다.
- Step 3. 교차로의 진입을 희망하는 차량들에게 차량 내에 설치된 단말기(OBE)를 통해 Step 2에서 계산된 차두시간과 안전하게 진입이 가능한 임계간격을 비교하여 진입가능성 여부를 전달한다.

Fig. 2에서는 일반적인 회전교차로 그리고 Smart Roundabout에서 관측되는 수락간격과 거절간격의 분포를 로짓모델을 이용하여 예시하고 있다. 두 분포가 교차하는 지점이 임계간격으로 정의된

다. 일반적인 회진교차로가 형성하는 임계간격(1)에 비해 Smart Roundabout에서 산정하고 제공하는 임계간격(2)이 상대적으로 짧으며 해당되는 수락간격(2)과 거절간격(2)의 분산 또한 상대적으로 작아지게 된다. 다시 말하면, Smart Roundabout을 통해 운전자에 따라 다르게 인지하는 임계간격의 평균과 편차를 줄이고자 하는 것이다.

4. 시뮬레이션기법을 통한 Smart Roundabout의 평가

본 연구에서는 현재 다양한 교통관련 연구에서 사용 중인 미시적 시뮬레이션 모델을 이용하여 Smart Roundabout의 기본 개념을 평가하고자 한다. 특히 본 연구는 VISSIM을 사용하고 있는데 그 이유는 VISSIM 내에서 구현 가능한 객체들(objects)의 다양한 속성을 컴퓨터 프로그램을 통해서 접근·통제할 수 있게 하는 VISSIM COM (Component Object Model)이라는 사용자 인터페이스(user interface)를 제공하여 일반적인 VISSIM 모델만으로는 구현이 불가능한 복잡한 시나리오의 연구가 가능하기 때문이다. 예를 들면 Kim (2011)은 VISSIM COM을 이용하여 차량과 노면 기지국 간 혹은 차량 간의 통신에 의한 교통자료의 송수신 그리고 수신한 교통정보를 근거로 개별차량별로 동적경로를 탐색해서 시뮬레이션 구동 중에 경로를 갱신하고 수정해서 새로운 경로로 이동하는 첨단교통정보시스템을 개발하고 평가하였다. 본 연구에서는 Visual Studio.NET에서 VISSIM COM을 이용하여 개별 차량들의 정보와 임계간격을 산정하는 가상의 노면기지국과 산정된 임계간격에 따른 해당 차량들의 주행환경을 조성함으로써 Smart Roundabout의 개념의 효율성을 밝히고자 한다.

4.1 시뮬레이션모델의 실험설계

Fig. 3은 본 연구에서 사용된 1차로 회진교차로이다. 임계간격 값과 진입교통량을 시나리오별로 변동시키면서 동쪽방향 차량의 진입차량대수를 파악하였다. 시나리오에서 주어진 임계간격과 교차로 내에서 회전하는 차량들 간의 차두간격을 비교하기 위하여 세 가지 Case를 정의하였다. 기본적인 개념은 회진교차로의 상류부에 위치한 차량의 속도를 고려하여 단위시간마다 현재위치에서 참고지점(reference point)까지 도착하는데 소요되는 시간이 주어진 임계간격보다 짧을 경우 차량의 진입을 허락하는 방식이다. Fig. 3(a)는 동쪽과 북쪽에서 진입하여 회전하는 차량들의 속도 (Case 1) 그리고 Fig. 3(b)는 동쪽에서 진입하여 회전하는 차량들의 속도(Case 2)를 파악하여 단위시간마다 회전하는 차량들의 현재위치에서 참고지점까지의 소요시간을 산정한다. Case 3은 Case 2에 해당하는 구간에 회전하는 차량이 없을 경우를 의미한다.

Table 2는 시뮬레이션에 사용된 다양한 파라미터와 그 범위를

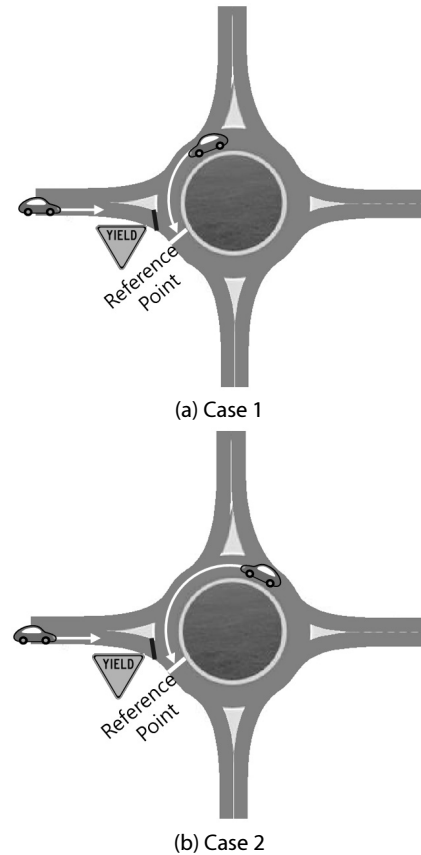


Fig. 3. VISSIM Network for Simulation Test

정의하고 있다. 기본적인 기하구조는 1차로형 회진교차로로써 2010년 12월 국토해양부에서 발행한 회진교차로 설계지침을 참고하였다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010). 또한 여섯 가지의 진입교통량과 여덟 가지의 임계간격 값을 복합하여 48 가지의 시나리오를 생성하고 그 효과를 분석하였다. 미시적 시뮬레이션 모델의 난수효과를 최소화하기 위해서 각 시나리오별로 30회씩 시뮬레이션을 구동하여 시뮬레이션 결과값은 30회의 평균값을 사용하였다.

4.2 Smart Roundabout의 평가

본 연구에서 제안하고 있는 Smart Roundabout의 안전성과 효율성 평가를 위해서는 기존에 현장에서 운영되고 있는 회진교차로와 Smart Roundabout의 결과를 일정한 효과척도를 기준으로 비교하여야 하지만 회진교차로 운영에 대한 운전자의 인지도부족과 교통수요의 편차로 인하여 일관성 있는 관찰값의 확보가 여의치 않으며 이로 인하여 시뮬레이션의 결과값을 기준으로 Smart Roundabout을 평가하고자 한다. 또한 교차로를 접근하는 차량들이 회전하는 차량들의 차두시간(임계간격)보다 짧은 시간에 참고지

Table 2. Parameters and its Values Used for Simulation Test

Parameter	Value	Note
Roundabout Geometry		
Type	Single-lane	
Central Island Diameter	40m	Roundabout Design Guide
Circulatory Roadway Width	4.5m	Roundabout Design Guide
Speed of Entering Vehicle	25kph	
Speed of Circulating Vehicle	25kph	Roundabout Design Guide
Approach Roadway Length	300m	Identical to all Approach Roadway
Roundabout Operation		
Traffic Flow(vph)	300, 360, 450, 600, 900, 1800	Identical to all Approach Roadway
Vehicle Generation Headway(sec.)	12, 10, 8, 6, 4, 2	Constant Headway for Entering Links
Critical Gap(sec.)	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15	Eastbound Approach Roadway
Turning Ratio	15% Left Turn, 15% Right Turn, 70% Through	Identical to all Approach Roadway
Simulation Parameters		
Simulation Time (sec.)	1000	
No. of Scenarios	48	Traffic Flow * Critical Gap
No. of Simulation Runs	30 Runs for each Scenario	Total 1540 Runs

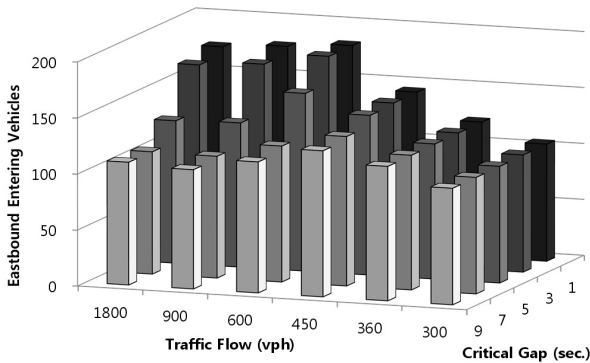


Fig. 4. Eastbound Number of Vehicles Entering Roundabout

점(reference point)까지 진행할 수 있을 경우에만 교차로 진입이 허용되기 때문에 이미 안전성은 확보되었다고 가정하고 교통수요와 임계간격에 따른 교차로 진입차량대수를 본 연구에서는 효과적도로 사용하고 있다.

Fig. 4는 각각의 진입교통류율과 임계간격으로 구성된 48개의 시나리오별로 동쪽방향 진입차량 대수를 나타내고 있다. 임계간격 11초, 13초, 그리고 15초에 해당하는 결과 값은 임계간격 9초의 결과 값과 동일하였다. 교통량이 적은 경우(300vph, 360vph)에는 임계간격의 차이에 따른 동쪽방향 진입차량 대수의 변화가 거의 없는 반면에, 교통량이 증가할수록 임계간격의 영향이 점점 커지고 있는 것을 목격할 수 있다. 이는 교통량이 많아질수록 그리고 임계간격이 커질수록 접근차량들이 사용가능한 수락간격을 찾기가 힘들

어지기 때문이다.

또한 교통량이 600vph 수준인 경우 각각의 임계간격에서 가장 많은 차량이 동쪽방향으로 진입하고 있는데 이는 허용된 임계간격에서 최적의 교통량이라고 판단된다. 다시 말하면, 교통량이 적을 경우는 교통수요가 사용하지 못하고 허비하는 수락간격이 다수 발생하는 반면에 교통량이 지나치게 많을 경우는 수락간격이 허용된 임계간격보다 짧아 교차로 진입이 곤란한 상황이 발생하게 되는 것이다.

Table 3은 Fig. 3에서 살펴본 동쪽방향 진입차량을 Case별로 구체적으로 나타내고 있다. 공통적으로 교통량에 관계없이 임계간격이 커질수록 Case1 (짧은 구간에 주행차량이 있을 경우)과 Case2 (긴 구간에 주행차량이 있을 경우)에서 계산되는 수락간격이 임계간격보다 짧아짐으로 동쪽방향 진입차량 대수가 줄어들고 결국 임계간격이 9초 이상이 되면 오직 Case3 (긴 구간에 주행차량이 없을 경우)에 해당하는 경우만 발생하게 된다.

Case3의 경우를 좀 더 구체적으로 살펴보면, 임계간격 9초까지 동쪽방향 진입차량이 점진적으로 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 낮은 임계간격에서 Case1과 Case2를 통해 해당 차량이 교차로를 진입한 후 뒷 차량이 정지선으로 접근하는데 소요되는 시간동안 발생하는 Case3의 경우를 연속적으로 상실하기 때문으로 밝혀졌다.

결론적으로 본 연구에서 제안하는 Smart Roundabout 개념을 이용한 첨단교통정보시스템을 적용할 경우, 임계간격에 따라 교차로를 진입하는 교통량이 달라지는 것을 목격할 수 있었으며 회전교

Table 3. Eastbound Number of Vehicles Entering Roundabout for each Case

Traffic Flow	Case #	Critical Gap(sec.)					11 ~ 15
		1	3	5	7	9	
300 vph	1	52	50	0	0	0	Same as 9 Second's Results
	2	13	14	23	3	0	
	3	40	41	81	101	104	
	Sum	105	105	104	104	104	
360 vph	1	21	19	0	0	0	
	2	34	34	27	3	0	
	3	66	68	93	117	120	
	Sum	121	121	121	120	120	
450 vph	1	42	36	0	0	0	
	2	53	55	43	6	0	
	3	49	53	99	128	130	
	Sum	144	144	143	133	130	
600 vph	1	49	43	0	0	0	
	2	68	70	53	3	0	
	3	66	69	106	118	117	
	Sum	182	182	159	121	117	
900 vph	1	63	51	0	0	0	
	2	38	40	28	3	0	
	3	78	81	101	106	106	
	Sum	178	172	129	109	106	
1800 vph	1	59	50	0	0	0	
	2	36	37	25	3	0	
	3	79	81	103	107	110	
	Sum	174	167	127	109	110	

차로가 설치된 지역의 교통환경에 적합한 임계간격을 선택할 경우, 최소한의 지체로 안전하고 효율적인 회전교차로의 운영이 가능하리라고 판단된다.

5. 결론 및 향후 연구과제

이미 개발되어 있는 센싱, 통신, 전산과 같은 첨단기술을 이용해 도시교통문제의 경감을 위해 다양한 지능형교통시스템(ITS)들이 보급 중에 있으며 교통소통과 안전에 있어 큰 역할을 수행하고 있다. 본 연구에서는 이러한 기술들을 주거지역에서 차량의 속도감소를 도모하는 교통정온화기법으로 사용하거나 혹은 차량정체를 완화하고 환경에 대한 차량의 부정적인 영향을 경감시키고자 활용되고 있는 회전교차로와 접목시켜 교차로로 접근하는 운전자로 하여금 좀 더 안전하고 짧은 임계간격을 이용해 진입할 수 있도록 함으로써 회전교차로의 용량과 안전을 개선할 수 있는 Smart

Roundabout이라는 첨단교통정보시스템을 제안하고 평가하였다.

이를 위해 본 연구에서는 미시적 시뮬레이션 모델인 VISSIM에서 제공하는 사용자 인터페이스인 VISSIM COM을 이용하여 진입교통량과 임계간격으로 조합된 다양한 시나리오 상황에서 이 두 변수가 회전교차로 진입차량에 미치는 영향을 살펴보았다. 시뮬레이션 결과에 의하면 교통량이 적은 경우에는 임계간격의 영향이 거의 없는 반면에, 교통량이 증가할수록 임계간격의 영향이 점점 커지고 있는 것을 목격할 수 있다. 이는 교통량이 많아질수록 그리고 임계간격이 커질수록 접근차량들이 사용가능한 수락간격을 찾기가 힘들어지기 때문이다. 또한 어느 일정한 교통량에서는 각각의 임계간격에서 가장 많은 차량이 동쪽방향으로 진입하고 있는데 이는 허용된 임계간격에서 최적의 교통량이라고 판단된다. 다시 말하면, 교통량이 적을 경우는 교통수요가 사용하지 못하고 허비하는 수락간격이 다수 발생하는 반면에 교통량이 지나치게 많을 경우는 수락간격이 허용된 임계간격보다 짧아 교차로 진입이 곤란한 상황

이 발생하게 되는 것이다.

또한 Case별로 동쪽방향 진입차량을 살펴보면 공통적으로 교통량에 관계없이 일정 임계간격 이상이 되면 정해진 구간 내에서의 수락간격이 주어진 임계간격의 조건을 충족시키지 못함으로써 해당 구간에 주행차량이 없을 경우에 해당하는 경우만 발생하게 된다.

결론적으로 본 연구에서 제안하는 Smart Roundabout 개념을 이용한 첨단교통정보시스템을 적용할 경우, 임계간격에 따라 교차로를 진입하는 교통량이 달라지는 것을 목격할 수 있었으며 회전교차로가 설치된 지역의 교통환경에 적합한 임계간격을 선택할 경우, 최소한의 지체로 안전하고 효율적인 회전교차로의 운영이 가능하리라고 판단된다.

하지만 본 연구에서 제안하고 있는 Smart Roundabout은 이상적인 통신환경을 가정하고 교통운영의 측면에만 초점을 맞추어 개발되고 평가되었기 때문에 실제 통신장비나 차량 내 단말기(OBE)를 통한 현장에서의 평가가 요구되고 있다. 또한 본 연구에서 사용된 회전교차로의 기하구조는 지나치게 단순화되었으므로 회전교차로의 형식, 내접원의 크기, 중앙섬의 직경, 회전차로폭, 진입차로폭 등의 변수도 고려되어야 할 것으로 판단된다. 마지막으로 차량 내 단말기(OBE) 장치들 장착한 차량들의 비율 그리고 회전교차로 진입정보를 제공받은 운전자의 준수비율(compliance rate)에 대한 연구도 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의해서 연구되었음.
이 논문은 제68회 대한교통학회 학술발표회에서 발표한 내용을 수정·보완하여 작성된 것임.

References

Ahn, W., Lee, S. and Ahn, G. (2011). "A study on signal metering performance analysis for roundabouts." *Journal of Transport Research*, The Korea Transport Institute, Vol. 18, No. 2, pp. 1-11 (in Korean).

Chun, W. S. and Hoe, P. S. (2009). "A study on the development trends of automobile-IT convergence." *Electronics and Telecommunications Trends*, Electronics and Telecommunications Research Institute, Vol. 24, No. 2, pp. 9-18 (in Korean).

Jeon, W. H. and Doh, T. W. (2003). "Analysis of the entry capacity of roundabout." *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 21, No. 3, pp. 59-69 (in

Korean).

Kim, A., Kim, G. and Choi, H. (2011). "Center of Car-IT integration : Connected car." *Technology Hot Issues*, KT Advanced Institute of Technology, Vol. 35, pp. 1-5 (in Korean).

Kim, E. and Ji, M. (2009). "A study on level of service criteria for roundabouts." *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 27, No. 1, pp. 7-16 (in Korean).

Kim, H. K. (2011). "A simulation-based investigation of an advanced traveler information system with V2V in urban network." *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 29, No. 5, pp. 121-138.

Kim, T., Park, M. and Park, B. (2012). "A critical gap model for roundabouts in Korea." *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 30, No. 2, pp. 93-100 (in Korean).

Lee, Y. H. (2012). *Critical gap at the entry path of multi-leg roundabouts*, Master's Thesis, Dankook University, pp. 16-18 (in Korean).

Lee, Y., Lee, I. and Lee, D. (2010). "Determination of passenger car equivalents when estimating capacity at small 3-leg roundabouts." *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 28, No. 6, pp. 65-74 (in Korean).

Lim, J. and Jung, E. (2011). "Study on Internet portal service in connected vehicle environment : For the effective contents and interface based on voice recognition, full browsing, and touch interaction." *Proc. of 2011 Conference on the HCI Society of Korea*, Human Computer Interaction (HCI) Society of Korea, pp. 984-986 (in Korean).

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010). *Design guideline of roundabout* (in Korean).

Son, J., Park, D., Kim, T. and Jung, Y. (2011). "Introduction to Korean roundabouts design." *Transportation Technology and Policy*, Korean Society of Transportation, Vol. 8, No. 2, pp. 47-51 (in Korean).

Son, Y. T. and Jun, J. S. (1999). "Estimating delay of vehicles entering roundabouts using gap acceptance functions." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 19, No. 3-6, pp. 1045-1048 (in Korean).

Xu, F. and Zong, Z. T. (2008). "Driver behavior and gap-acceptance characteristics at roundabouts in California." *Transportation Research Record*, TRB, No. 2071, pp. 117-124.

Yang, I. (2012). "Next generation road safety system using vehicle-to-vehicle communication : Connected vehicle program of U.S. DOT." *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Korean Society of Road Engineers, Vol. 14, No. 3, pp. 77-79 (in Korean).

Yoon, B. and Kim, J. (2012). "Technology trends of research and development with intelligent car." *Magazine of Institute of Control, Robotics and Systems*, Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 18, No. 2, pp. 21-29 (in Korean).