

보행량에 따른 회전교차로 보행자 신호운영 방안에 관한 연구

A Study of Roundabout Pedestrian Crossing Operation According to the Pedestrian Volume

이수인* · 최재성** · 박 준*** · 김상엽****

Lee, Su In · Choi, Jai Sung · Park, Jun · Kim, Sang Youp

1. 서 론

1.1 연구의 배경과 목적

최근 한국을 비롯하여 세계적으로 회전교차로(Roundabout)에 대한 관심이 높아지고 있다. 회전교차로는 미국, 영국, 호주 등 유럽 국가에서 효과적으로 사용되는 교차로 형태로서, 기존의 존재하였던 로터리의 형태와 유사하지만 운영방법은 상이하다. 우리나라에서는 회전교차로에 대한 인식이 신호교차로에 비하여 위협성이 높고, 차량의 통행에 있어 우선권 및 차량간의 마찰에 대한 우려로 인하여 적극적으로 국내에는 적용하지 못하고 있는 실정이다. 하지만 회전교차로에 대한 해외의 다양한 사례와 연구들에서 입증되었듯이 회전교차로의 효율성과 안전성 측면에 대한 객관적인 근거들이 충분히 제시되고 있다. 우리나라에서는 그동안 적극적이지 않았던 회전교차로 설치에 대하여 우호적인 입장으로 국가적인 차원에서 회전교차로를 장려하려 하고 있다. 그러나 국내의 회전교차로는 그 사례가 충분치 않고 국내 실정에 적합한 선행연구들이 부족하여 해외의 설계기준 및 이론들을 우리나라의 회전교차로에 접목하여 이용하고 있다. 특히 회전교차로의 분류 및 디자인 요소와 같은 부분들에 있어서는 국내 실정 및 도로환경에 적합한 설계지침이 요구되고 있다. 최근 우리나라는 운전자 중심의 정책에서 벗어나 '교통약자를 우선시하고 효율적이고 안전한 도로 시설물 도입'으로 정책이 전환되고 있다. 이러한 시대적 요구에 따라 도로 설계 분야에서는 회전교차로에 대한 관심이 급증하고 있다. 이러한 사회적 배경과 더불어 최근 국내에서는 회전교차로에 대하여 교통안전, 교통운영, 정책적인 방향으로 다각도로 접근하고 있다.

회전교차로에 대한 선행연구들은 회전교차로의 안전성, 운영효율성에 대한 연구들이 대부분을 차지한다. 하지만 국제적으로 보행에 대한 관심이 높아지고 보행환경에 개선에 대한 국가적인 관심이 집중되고 있다. 기존의 회전교차로의 연구에서는 진입차량, 회전교통량, 물리적인 디자인의 변화에 따른 회전교차로의 용량 분석에 주목하였다. 하지만 회전교차로가 도시부에 설치될 경우 회전교차로의 용량에 영향을 미치는 가장 큰 요소 가운데 하나가 보행량과 보행신호 운영방법이다.

본 연구에서는 보행량이 많은 도시부에 설치되는 2차로 회전교차로를 대상으로 보행량이 회전교차로에 미치는 영향에 대하여 분석을 수행하였다. 그리고, 회전교차로를 횡단하는 보행량에 따라 회전교차로의 보행자의 신호운영방안들에 대하여 대안별로 시뮬레이션을 통하여 분석을 수행하여 회전교차로의 보행량에 따른 최적 보행신호구성을 제시함으로써 회전교차로의 효율적인 운영방안을 제시하였다.

* 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 · 이학사 · 02-2210-2990(E-mail : suin1124@uos.ac.kr)

** 서울시립대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 · 02-2210-2990(E-mail : traffic@uos.ac.kr)

*** (주)건영이앤씨 실장 · 공학석사 · 070-7618-2395(E-mail : roadchun@hanafos.com)

**** 서울시립대학교 교통공학과 박사수료 · 공학석사 · 02-2210-2990(E-mail : road@uos.ac.kr)

1.2 연구의 범위와 방법

일반적으로 회전교차로의 용량에 영향을 주는 요인들은 크게 물리적인 설계요소, 교통량의 구성, 보행량으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 도시부에 설치되는 2차로 회전교차로를 대상으로 보행량이 회전교차로의 용량에 미치는 영향에 대하여 분석을 수행한다. 일반적으로 회전교차로 분석을 위하여 사용되는 시뮬레이션 프로그램은 SIDRA와 VISSIM이 가장 많이 사용된다. 본 연구에서는 보행신호 구성에 따른 회전교차로의 분석을 수행하기 위해서 보행자 신호의 감응식 제어를 적용할 수 있는 VISSIM을 사용하여 분석하였다.

보행량에 따른 회전교차로 최적 보행신호 구성을 도출하기 위하여 『국내 회전교차로 설계지침(안), 2004, 건설교통부』에서 제시하고 있는 도시부 회전교차로 설계기준에 부합하는 회전교차로를 대상으로 용량분석 및 보행량에 따른 회전교차로의 용량변화를 우선적으로 수행한다. 그리고 보행량과 교통량이 증가함에 따라 본 연구에서 제시하고 있는 교차로의 3가지 형태를 시나리오로 구분하여 분석을 수행한다. 본 연구에서는 기존의 차량 중심의 회전교차로 용량분석과는 달리 교통량과 보행량을 모두 변수로 가정하여 분석을 수행하여 교통량과 보행량에 따른 최적신호 운영방안을 제시한다.

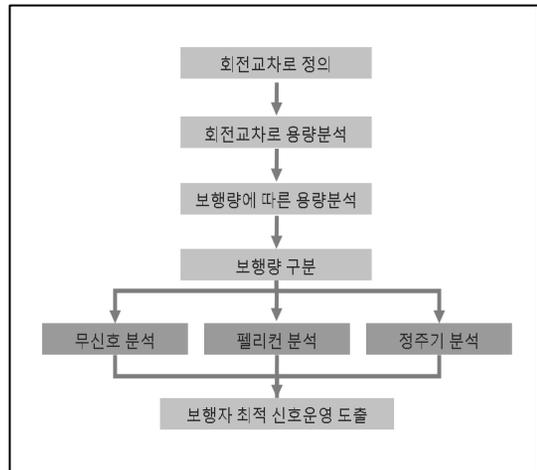


그림 1. 본 연구의 흐름도

2. 기존 연구 검토

2.1 국내연구

전우훈(2003)은 회전교차로와 신호교차로의 효율성을 비교하기 위하여 SIDRA를 이용하였으며, 시뮬레이션은 단지 1차로로 구성된 회전교차로에 대해서만 수행되었다. 분석 결과에 따르면, 각 방향의 접근로에서 교통량이 600pcph 이하일 때 신호교차로보다 회전교차로의 효율성이 우수한 것으로 분석하였다. 박병호(2005)는 현대식 회전교차로의 SIDRA를 통하여 효과평가를 수행하였다. 평가의 기준으로는 지체(delay), V/C를 선정하였으며, 분석의 주안점은 회전교통류별 지체 비교와 V/C로써 회전교통류의 경우 우회전이 주를 이룰 경우에는 기존의 교차로에 비하여 효율성이 증가하는 것으로 나타났으나 직진교통류 및 좌회전 교통류가 상대적으로 많은 경우에는 효율성이 낮아짐을 제시하였다. 박병호(2009)는 회전 교차로와 신호교차로를 SIDRA를 이용하여 평균제어지체를 분석하였다. 결과로는 1차로 회전교차로는 총 진입 교통량이 2000pcph 이하일 때, 신호교차로에 비하여 효과적이며, 2차로 회전교차로의 경우 총 진입 교통량이 3,200pcph 이하일 경우에 신호교차로보다 효과적인 것으로 분석되었다.

2.2 해외연구

Vincenzo Galleli(2008)은 VISSIM을 이용하여 회전교차로의 분석을 수행하였다. 본 분석에서는 Circle Radius, traffic flow, approach speed, island width에 따른 stop line delay에 대한 분석을 다양한 시나리오를 통하여 제시하였다. Janine M(2008)은 회전교통류별 지체 비교와 V/C로써 회전교통류의 경우 우회전이 주를 이룰 경우에는 기존의 교차로에 비하여 효율성이 증가하는 것으로 제시하였다. 직진교통류 및 좌회전 교통류가 상대적으로 많은 경우에는 효율성이 낮아짐을 제시하였다. 또한 V/C 측면에서 분석에서는 Roundabout에서는 시간당 진입 교통량 2600대/시에서 용량한계가 나타나는데 비하여 신호교차로의 경우 3400대/시에서 용량한계에 도달하는 것으로 분석되었다. Bill Baranowski(2005)는 회전교차로에 보행자에 대한 연구를 수행하였다. 연구를 통하여 각 지침들의 기준들을 분류하였는데 FHWA의 경우 60명 이상의 보행자가 4시간 이상 지속될 경우, 90명 이상의 보행자가 2시간 이상 지속될 경우, 110명의 보행자가 1시간 이상 지속될 경우

보행신호 적용을 고려하여야 한다고 제시하고 있다. Ottawa의 경우 200명의 보행자가 8시간 지속, 200~400명의 보행자가 12시간 교통량이 4000대 이상 15000대 미만인 지역에 대하여 보행신호 운영을 제시하고 있다. Colorado의 경우 진입속도 40mph이하의 회전교차로를 대상으로 100명 이상의 보행이 있을 경우 보행신호에 대하여 고려하여야 한다고 제시하고 있다. 일반적으로 모든 연구에서는 어린이 및 노약자의 경우 2인으로 가정을 하고 분석을 수행하였다.

3. 회전교차로 보행자 횡단 신호운영 형식 검토

3.1 무통제(Zebra)

일반적으로 교통량이 적은 지역을 중심으로 설치되는 횡단보도로써 노면에 횡단보도 마킹만으로 운영되는 횡단보도이다. 일반적으로 차량들은 보행자가 횡단보도에 진입하기 전까지는 멈추지 않고 통과 가능하다. 노면이 미끄러운 경우에는 차량이 보행자를 인지하고 대응하기까지는 상대적으로 더 긴 시간이 요구된다. 또한 보행자의 경우에도 차도를 지나가는 차량들을 인지하고 횡단여부를 결정하기까지 긴 시간이 요구된다. 또한 횡단에 앞서 양쪽방향에 차량들의 접근의 여부를 확인하여야 한다.

영국의 경우 Zebra crossing을 사용하는 장소의 경우 흰색과 검정색으로 구성된 기둥을 및 노란색 점멸 신호를 추가하고, 노면 차선 마킹을 지그재그로하여 차량의 감속을 유도하고 접근하는 차량들로 하여금 횡단보도를 인지하게 하도록 유도하고 있다.

3.2 Pelican(Pedestrian Light Controlled Crossing)

Pelican 횡단보도는 보행자에 의해서 운영되는 신호교차로이다. 보행자가 대기공간에 있는 버튼을 누르면 보행자 신호가 활성화 되는 신호구성이다. 적색신호가 켜져있을 경우 보행자는 대기하여야 하고 녹색신호에 보행자는 횡단 가능하다. 하지만 주기적인 신호등의 운영이 아니기 때문에 보행자는 녹색신호시에도 차량의 접근 및 감속에 대한 주의를 하여야 한다. 녹색등이 점멸할 시에는 보행자는 횡단보도에 진입 불가하고 보도에서 대기하여야 하며, 횡단중인 보행자는 안전하게 횡단을 마무리 하여야 한다. Pelican 횡단보도 가운데 일부는 시각장애인, 청각장애인을 위하여 beeping을 이용하여 횡단신호의 여부를 알려준다. 운전자의 경우 횡단보도로 접근할 경우에 보행자가 보도에 대기하고 있으면 녹색신호가 유지되고 있다고 할지라도 횡단보도의 신호가 켜지는 것에 대하여 사전에 인지하고 감속하여야 한다.

3.3 Puffin(Pedestrian User-Friendly Intelligent Crossing)

Puffin 횡단보도는 일반적으로 영국에서 흔히 사용되는 횡단보도이다. Puffin 횡단보도는 Pelican 횡단보도와 그 구성 및 운영이 유사하나 가장 큰 차이점은 횡단보도의 녹색점멸신호가 없다는 것이다. 그리고 Puffin 횡단보도는 적외선 카메라를 이용하여 횡단보도의 녹색시간을 증가시켜 노약자 및 보행자가 안전하게 횡단을 마칠때까지 횡단보도의 녹색시간을 연장시킨다. 그리고 최근의 시스템에서는 열감지 센서를 이용하여 보행시간을 조절한다.

3.4 Toucan(Two-Can Cross)

Toucan 횡단보도는 보행자와 자전거의 통행을 모두 보장하는 횡단보도이다. 보도에 위치한 철제 난간(iron railings)은 자전거와 보행자의 적색신호시 진입하는 것을 방지한다. 횡단신호는 녹색점멸신호 및 황색신호가 존재하지 않는다. 따라서 신호등의 운영은 일반 교차로 신호운영과 동일하게 운영된다.

4. 회전교차로 보행자 횡단 시뮬레이션 구성

4.1 시뮬레이션 구성

연구는 도시부 2차로 회전교차로를 대상으로 분석을 수행하였다. 회전교차로에 진입하는 교통량은 좌회전,

직진, 우회전의 비율을 1:8:1로 일괄적으로 적용하여 분석을 수행하였다. 보행자의 횡단 속도는 1.2m/s로 적용하였고, 횡단보도의 길이는 13m로 적용하였다. 또한 접근차로상에 존재하는 교통섬에 위치하여 신호를 대기하는 보행량은 고려하지 않았으며 진입한 보행량은 진입 현시에 횡단을 완료하는 것으로 정의하였다. 보행 속도를 고려한 횡단보도의 최소녹색시간은 10.8초로 나타났으나, 보행의 효율성 및 어린이, 노약자와 같은 보행수요의 다양한 구성 및 녹색시간 중 진입 보행량을 감안하여 20초의 유효녹색시간을 적용하였다.

표 1. 본 연구의 시뮬레이션 적용

	회전교차로 설계기준	시뮬레이션 적용	비고
회전교차로 설계속도(km/h)	23~30	20~25	-
내접원 직경(m)	45~55	45	-
중앙교통섬 직경(m)	25~37	35	-
회전차로 폭(m)	9~10	9	-
진입부 최대 설계속도(km/h)	40	35~42	-
보행자 통행속도(m/s)	1.2	1.2	교통약자 반영
보행자 우선권	-	보행자	보행자 우선
분리교통섬	유/무	무	-

4.2 시나리오 설정

본회전교차로 시뮬레이션의 변수는 횡단신호구성(무통제, pelican, 정주기식), 교통량(100대/시~4000대/시)으로 구성하여 총 1,922회의 시뮬레이션을 통하여 교차로 평균차량지체를 도출하였다. 무통제의 경우 통행의 우선권은 보행자에게 있도록 설정하였으며, 펠리컨(감응식) 횡단보도는 VISSIM의 VisVap을 사용하여 구성하였다. 정주기식 횡단보도의 신호운영은 총 신호주기를 120초로 정의하였다.

표 2. 시뮬레이션 시나리오의 구성

구분		신호운영	시나리오
지역	종류		
도시부	2차로 회전교차로	무통제(Zebra)	시나리오 2-1
		펠리컨(Pelican)	시나리오 2-2
		정주기식	시나리오 2-3

4.3 Pelican(감응식) 횡단보도 알고리즘 구성

회전교차로에 설치하는 횡단보도 가운데 미국을 비롯한 해외에서 가장 많이 쓰는 보행자 횡단신호운영방식은 Pelican(Pedestrian Light Controlled Crossing) 방식의 횡단신호 시스템이다. Pelican 횡단보도는 보행자가 차도 횡단을 위하여 대기공간에 진입하여 버튼을 누름으로 인하여 보행자의 신호현시가 요청되는 방식으로 Puffin과도 유사한 방식의 운영이다. 본 연구에서는 VisVap을 이용하여 Pelican 횡단보도의 알고리즘을 구성하였다.

일반적으로 Pelican 횡단보도는 보행자 신호현시 요청 이후 대기시간에 따라 통행하는 차량들의 지체에 영향을 미친다. 펠리컨, 퍼핀 및 감응식과 같은 보행자에 의한 횡단보도의 경우 신호현시에 대한 요청이후 대기시간에 따라 교차로의 용량이 변화된다. 현시에 대한 요청이후 짧은 대기시간은 용량을 회전교차로의 용량을 감소하게 하며, 반대로 긴 대기시간은 회전교차로의 용량을 증가시킨다. 본 연구에서는 보행자 신호현시 요청 이후 60초의 대기시간을 설정하였고, 이는 본 연구에서 시나리오로 설정하여 분석을 수행한 정주기식

보행자 횡단 신호구성(C=120초)의 1/2로 설정하였다. 결국 회전교차로에서 펠리컨과 같은 보행자 작동 횡단 보도를 설치할 경우 보행자 대기시간에 대한 논의가 선행되어야 할 것이다.

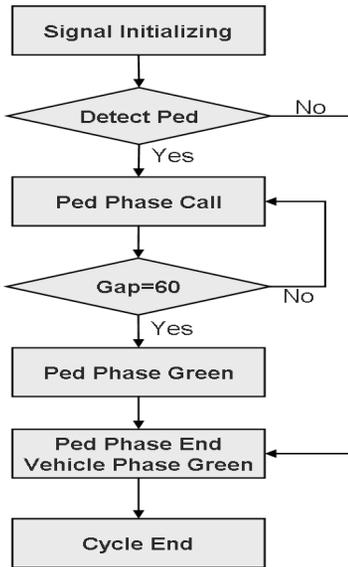


그림 2. Pelican Flow Chart

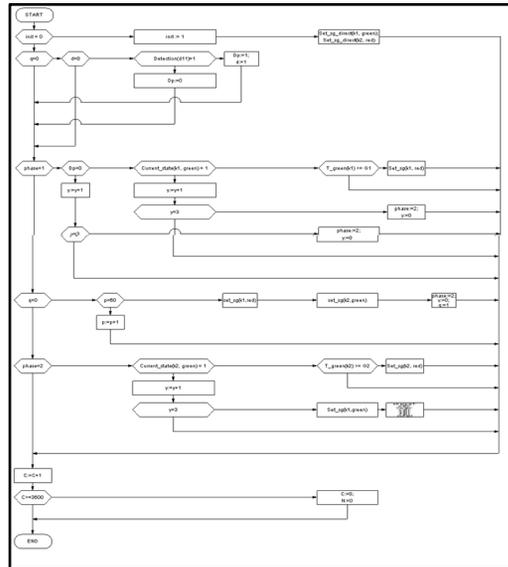


그림 3. Pelican Crossing VisVap Algorithm

5. 회전교차로 시뮬레이션 결과분석

본 연구에서는 회전교차로의 운영 효율성 분석을 위하여 효과척도는 차량별평균지체(sec/veh)로 설정하였다. 본 연구에서는 회전교차로의 효율성 분석을 위하여 도로용량편람(2001, 건설교통부)에서 제시하고 있는 '신호교차로 서비스 수준 기준'을 이용하였다. 횡단 보행량에 따른 교차로의 지체 분석결과 보행량이 증가할 수록 회전교차로 통행 차량들의 평균 제어지체는 그림 4와 같이 증가하였다. 보행량이 100명/시일 경우 보행 신호를 무통제로 회전교차로의 용량변화는 거의 나타나지 않았다. 그러나 회전교차로를 횡단하는 보행량이 200명/시 이상일 경우에는 보행신호 운영에 대한 고려가 회전교차로의 계획단계에서 전제되어야 한다. 이 경우에는 회전교차로를 진입하는 교통량에 따라 보행자 횡단신호 운영이 구분되어 나타났다. 보행량이 400명/시를 초과할 경우 보행수요와의 마찰로 인한 통행차량들의 지체는 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

표 3. 보행량별 회전교차로 용량

보행량(명/시)	교통량(대/시)	평균차량지체(초/대)	LOS
100	3500	70.5	E
200	3200	70.2	E
400	2600	73.16	E
600	1800	79.36	E
800	1100	68.66	D

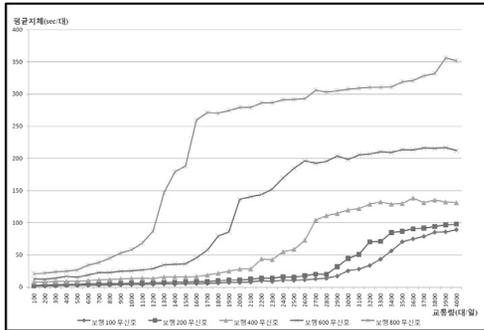


그림 4. 무신호 운영 시뮬레이션 분석

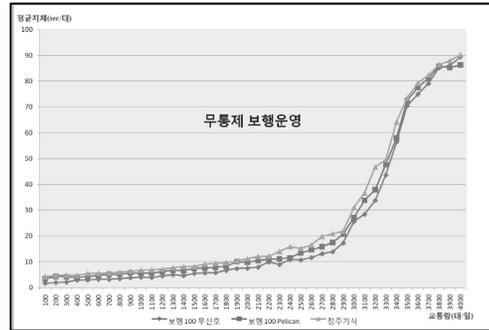


그림 5. 보행량 100명/시 분석결과

회전교차로의 횡단 보행량이 100명/대일 때에는 그림 5와 같이 보행량이 통행하는 교통량에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다. 회전교차로에 진입하는 교통량과 관계없이 보행신호의 운영은 무신호 운영이 가장 회전교차로에 효율적인 것으로 나타났다. 그러나 회전교차로의 진입량이 용량에 다다를 때에는 보행자의 안전을 고려하여 Pelican 횡단보도의 운영을 고려하여야 한다.

회전교차로를 횡단하는 보행량이 시간당 200명일 경우 진입교통량에 따른 다양한 보행신호의 적용이 가능하다. 회전교차로의 진입교통량이 1100대/시까지는 무통제 횡단보도 운영이 회전교차로에 가장 효율적인 것으로 나타났다. 회전교차로의 시간당 진입교통량이 1100대/시 이상 2900대/시 미만일 경우에는 Pelican 횡단보도 운영이 가장 효율적인 것으로 나타났다. 회전교차로의 지체가 급증하는 구간인 진입교통량 2900대/시 이상일 경우에는 정주기식의 신호교차로 운영이 가장 효율적인 것으로 나타났다. 따라서 일반적으로 회전교차로 운영시 회전교차로 횡단보행량이 200명/시 이상일 경우에는 보행자의 신호운영방법에 대하여 고려가 필요하다. 보행자 횡단신호 운영방안은 아래 그림 6과 같다.

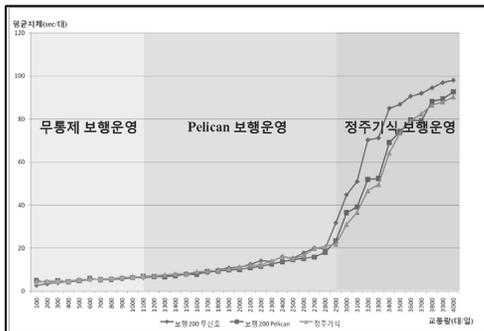


그림 6. 보행량 200명/시 분석결과

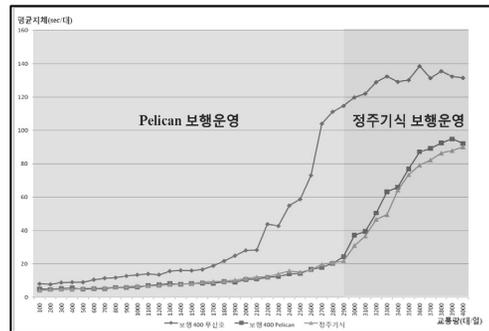


그림 7. 보행량 400명/시 분석결과

회전교차로의 횡단보행량이 400명/시일 경우에는 무통제 보행운영이 상대적으로 비효율적인 것으로 나타났다. 보행량이 400명/시 이상일 경우에는 회전교차로의 진입교통량이 적을시에도 회전교차로 통행차량의 평균지체에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 무통제 보행운영의 경우 회전교차로의 용량은 2600대/시까지 감소하나, Pelican 및 정주기식 횡단보도를 이용할 경우 회전교차로의 용량은 약3400대/시로 회복하는 것으로 나타났다. 회전교차로를 통행하는 보행량이 400명 이상일 경우에는 일반적으로 회전교차로의 효율성을 확보하기 위하여 보행자의 신호운영이 불가피 하다. 시뮬레이션을 통하여 도출된 결과로는 보행량이 400명 이상일 경우 Pelican, 정주기식 보행운영을 적용하여야 하며, 이 두 가지 횡단방법의 적용은 보행량이 증가할수록 정주기식 보행운영의 적용범위가 증가하는 방향으로 나타났다.

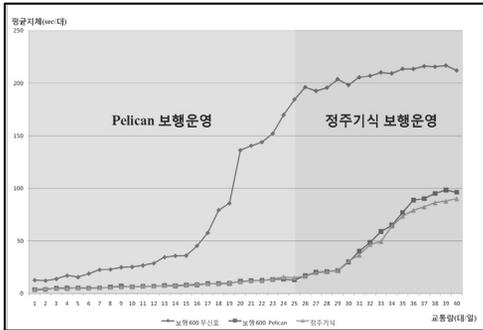


그림 8. 보행량 600명/시 분석결과

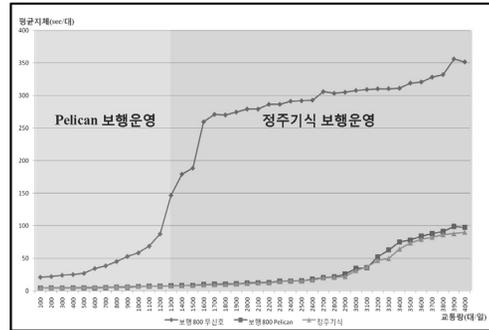


그림 9. 보행량 600명/시 분석결과

6. 결 론

일반적으로 회전교차로는 차량의 지체를 줄이고 사고를 감소시키는 장점을 가지고 있다. 더불어 중앙교통섬 및 접근속도의 제어로 인하여 보행자 사고 또한 감소한다. 하지만 도시지역의 경우 차량 및 보행의 수요가 지방부에 비하여 상대적으로 매우 높아 보행자의 안전과 차량의 교차로의 효율성을 모두 달성하기는 현실적으로 어렵다. 1차로 회전교차로의 경우 상대적으로 횡단거리가 짧고 차량의 통행이 적어 상대적으로 2차로 회전교차로에 비하여 안전성이 높으나 2차로 이상의 회전교차로의 경우에는 비신호로 보행이 이루어질 경우 안전상의 문제점이 나타나게 된다. 따라서 본 연구에서는 도시부 2차로 회전교차로를 대상으로 보행량에 따른 교통량별 회전교차로의 지체 변화에 대하여 분석을 수행하였다. VISSIM을 이용하여 분석을 수행한 결과 보행량에 따른 차량통행량별 신호운영방안은 그림 10과 같이 나타났다. 보행수요가 400명/시 이상일 경우에는 펠리컨 및 정주기식 신호운영으로 인한 교차로의 평균차량지체는 근사하게 나타났다.

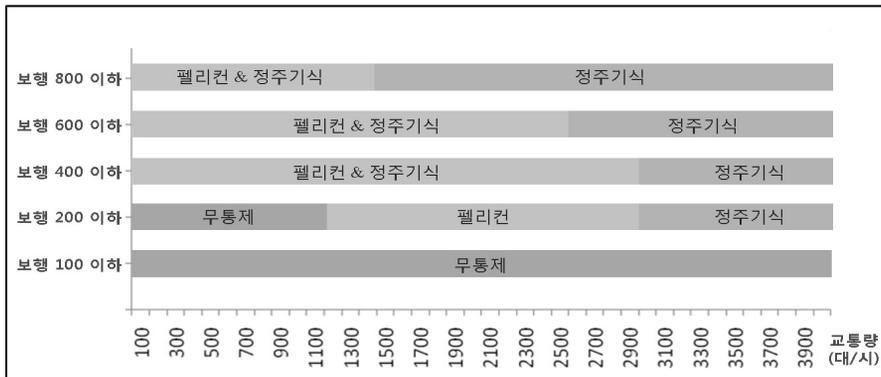


그림 10. 보행량에 따른 차량 통행량별 보행신호 운영

보행량이 매우 많은 도심 내부 지역 도로의 경우 차량의 통행량 또한 많게 되면 보행자와 차량의 이동성이 모두 와해되게 된다. 보행자와 차량의 통행을 확보하기 위한 횡단신호의 구성방법들에 대한 한계는 분명히 존재한다. 따라서 회전교차로의 적용에 있어서 적용 예상지역의 예상 차량통행량 뿐만 아니라 보행수요의 예측량까지 고려하여야 한다. 회전교차로의 계획에 있어서 교차로 설치지역이 차량의 통행이 우선인지 보행자의 통행이 우선인지에 대한 지역적인 구분을 선행한 후에 보행자 우선인 지역에 대해서는 회전교차로의 크기를 축소, 접근로 용량(차로폭, 차선수)을 축소와 같은 방법들을 고려하여 차량 통행량의 진입에 있어 근본적인 관리가 필요하다.

본 연구에서는 회전교차로를 통행하는 차량 중심의 관점에서 최대 효율을 얻을 수 있는 보행자 신호방안에 대하여 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 보행자의 통행에 있어 교통량과 신호 운영에 따른 보행자의 서비스 수준에 대한 부분을 포함하지 못하는 한계가 있다. 본 연구의 결과로 미루어 볼 때 보행자의 서비스 수준 및 안전성을 향상시키기 위해서는 본 연구에서 제시하는 보행자 신호운영 구분보다 더 낮은 보행량 수준에서 신호를 통한 보행자 신호운영이 예상된다. 향후 추가적인 연구 및 데이터 수집을 통하여 회전교차로 통행 차량의 효율성과 보행자의 이동성 및 안전성을 확보할 수 있는 합리적인 운영방안 개발이 요구된다.

참고 문헌

1. 건설교통부(2004), “평면교차로 설계지침”, 건설교통부, pp. 179~231
2. 건설교통부(2009), “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설”, 국토해양부, pp. 431~442
3. 건설교통부(2001), “도로용량편람”, 건설교통부, pp.209~363
4. 박병호, 정용일(2005), “SIDRA를 이용한 4지 1차로 현대식 회전교차로 효과평가”
5. 전우훈, 도철웅(2003), “Roundabout의 용량분석”
6. 박병호, 김태영, 한상욱, 양정모(2009), “회전교차로와 4지 신호교차로 효과에 관한 비교분석”
7. FHWA(2000), “Roundabouts : An informational Guide”
8. Austroad(2009), “Guide to Road Design”
9. Vincenzo Gallelli, Rosolino Vaiana.(2008), “Roundabout Intersections : Evaluation of Geometric and Behavioral Features sith VISSIM”
10. Janine M(2008), “Using Simulation to Plan Capacity Models by Lane for Two- and Three-Lane Roundabouts”
11. Bill Baranowski(2005), “Pedesrian Crosswalk Signals at Roundabouts : Where are they Applicable”