

감응식 회전교차로 신호미터링 운영 알고리즘 기술개발

2016. 12

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 충청권 국토교통기술
지역거점센터

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 “국토교통연구기획사업” 과제의 기획연구 보고서로 제출합니다.

2016. 12.

주관연구기관명 : 충청권 국토교통기술 지역거점센터

주관연구책임자 : 박 형 근

보고서 요약서

과제고유번호		해 당 단 계 연 구 기 간		단 계 구 분	1/1
연 구 사 업 명	중 사 업 명	국토교통연구기획사업			
	세부사업명	-			
연 구 과 제 명	대 과 제 명	감응식 회전교차로 신호미터링 운영 알고리즘 기술개발			
	세부과제명	감응식 회전교차로 신호미터링 운영 알고리즘 기술개발			
연 구 책 임 자	박형근 (충북대)	해당단계 참 여 연구원수	총 : 20명 내부 : 20명	해당단계 연 구 비	정부 : 50,000천원 계 : 50,000천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 44명 내부 : 44명	총연구비	정부 : 100,000천원 계 : 100,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	충청권 국토교통기술 지역거점센터		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	49
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	회전교차로, 신호미터링, 검지기, 대기행렬, 제어지체시간			
	영 어	Roundabout, signal metering, Detector, queue, delay time			

요 약 문

I. 과제명

감응식 회전교차로 신호미터링 운영 알고리즘 기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

☐ 기술의 정의

- 회전교차로의 감응식 신호미터링(Signal Metering)이란 평상시에는 무신호 회전교차로로 운영되다가 불균등 교통상황발생(unbalanced flow conditions)시 또는 진입로별로 설치된 검지기(detector)에 차량 점유시(대기행렬 발생시) 통제진입로와 미터링진입로를 미터링 운영대안에 따라서 선정하고 미터링진입로에 적색시간 연장을 통해 회전차로 내 임계간격을 확보하는 방법임

☐ 연구개발 목적

- 토지이용의 변화 및 불균등 교통류 발생으로 인한 회전교차로의 불필요한 대기시간을 절감하고 국내에 미개발된 회전교차로의 신호미터링(Signal Metering) 기술을 보급하여 회전교차로 운영효율 향상 및 통행문화 개선에 기여함
- 지·정체 및 유고 상황 등 다양한 교통상황에 탄력적으로 대응할 수 있는 신호미터링 운영 알고리즘 및 신호제어시스템 개발을 통해 회전교차로의 본래의 기능을 유지하여 효율적으로 운영하기 위함

☐ 연구 필요성

- 본 연구에서 개발하고자 하는 기술은 외국의 특정 국가에서 시행되고 있는 기술 수준과 현재 국내의 기술 수준은 상당한 격차가 있음
- 우리나라는 국민안전처의 회전교차로 활성화 사업 10개년 계획, 국토교통부의 일반국도 회전교차로 확대설치 사업, 지자체 회전교차로 설치 사업 등 지속적으로 회전교차로가 확대되고 있는 실정임
- 하지만 첨두시(출·퇴근시간) 또는 유고 상황에 회전교차로의 역효과로 이용자들이 불편을 겪고 있으나 신호미터링을 운영하고 있는 회전교차로는 없는 상태임
- 도로운영시스템 분야의 회전교차로 기술을 혁신하는 기술 대안으로 신호미터링 방법을 개발함으로써 세계 최고 수준의 교차로 운영 기술력 확보가 가능할 것임

III. 시장동향 및 기술 수준

☐ 국내·외 기술개발 및 시장동향

- 주요 선진국들은 회전교차로의 신호미터링을 위한 연구 및 설치가 다수 진행되었고, 이를 통해 국가 실정에 맞는 회전교차로 신호미터링 운영을 위한 매뉴얼 및 설계지침을 마련함
- 국내의 경우 회전교차로에 대한 안전 및 설계, 디자인에 대한 연구가 많이 진행되고 있으나, 신호 운영에 관한 연구는 일정한 교통량에 의한 고정식 신호운영에 대한 비교평가만 이루어진 실정임
- 중앙정부차원에서 기술개발 및 시스템표준을 구축하고 이를 각 지자체에 보급해 나가는 체계적 노력이 요구되는 시점임

IV. 연구개발의 내용 및 범위

☐ 비전 및 목표

- 지·정체 및 유고 상황 등 다양한 교통상황에 탄력적으로 대응할 수 있는 감응식 신호미터링 운영 알고리즘 및 신호제어시스템 개발을 통해 회전교차로의 효율적 운영

V. 연구개발성과

☐ 회전교차로 감응식 신호미터링 운영 알고리즘 S/W

☐ 회전교차로의 교통수요 검지, 진입신호 제어 등 신호제어 S/W

☐ 회전교차로 신호미터링 시스템 설치 및 운영 매뉴얼

☐ 기술인증 및 사업화 모델 발굴

VI. 연구개발성과의 활용계획

- 지역적 특성을 반영하여 회전교차로의 교통혼잡 저감 및 회전교차로 본래의 기능을 유지하기 위해 지자체 및 정부의 체계적 협력을 통해 과학기술에 기반으로 한 새로운 대안을 마련하고, 이를 다른 지자체에 확산시켜 나가는 접근방식으로 활용함
- 개발된 기술로 더 많은 지역, 더 넓은 범위(첨두시 교통량 기준)에 회전교차로 설치가 가능하므로 회전교차로 활성화 정책에 기여함
- 신호미터링 시스템 기술 고도화를 통해 세계적인 기술 주도권 확보를 통해 국제 시장의 진입과 경쟁력 확보가 가능해질 것이며 회전교차로 분야의 전도적인 지위를 확보할 수 있는 밑바탕이 될 것으로 기대됨

목 차

제 1 장 기술의 정의 및 필요성	1
제 1 절 기술정의	1
1. “감응식 회전교차로 신호미터링 운영 알고리즘 기술 개발” 정의	1
2. “회전교차로 신호미터링”의 기술 분류	3
제 2 절 기획의 필요성	5
1. 기획의 배경	5
2. 기획의 목적	6
3. 기획의 필요성	7
제 2 장 국내외 동향 및 환경분석	9
제 1 절 국내외 정책 및 연구	9
1. 국내 정책동향	9
2. 국외 정책 및 연구동향	11
제 2 절 국내외 시장현황 및 전망	15
1. 국내 시장현황 및 전망	15
2. 국외 시장현황 및 전망	16
3. 시사점	18
제 3 절 기술동향분석	19
1. 기술동향분석	19
2. 특허분석	21
3. 논문분석	23
4. 종합분석	25
제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략	26
제 1 절 비전 및 목표	26
1. 연구 개발 목표	26
2. 개발 세부 내용	28
3. 과제 개발 로드맵	37

제 2 절 추진전략 체계	38
제 3 절 자원 투입계획	39
1. 소요예산 산정	39
2. 인력투입 계획	40
제 4 장 실용화 전략	41
제 1 절 현황 분석	41
1. 기술수준	41
2. 지역의 현안	41
제 2 절 거점 내 수요처 분석	42
제 3 절 시장 진출 전략	43
제 4 절 기대효과	44
제 5 장 과제 제안요구서(RFP) 작성	45
제 1 절 연구단 과제 제안요구서(RFP)	45
참 고 문 헌	50

표 목 차

[표 2-1] 연도별 국내 회전교차로 설치현황	15
[표 2-2] 국가별 회전교차로 설치현황	18
[표 2-3] 영상검지기 기술동향 및 개발현황	21

그 림 목 차

[그림 1-1] 간격수락모형(Gap Acceptance Model)	1
[그림 1-2] 통제진입로(Controlling Approach) 및 미터링진입로(Metering Approach) 개념도	2
[그림 1-3] 실시간 신호미터링 판단 알고리즘 순서도	3
[그림 1-4] 회전교차로의 효과	5
[그림 1-5] 교통혼잡비용 변화추이	7
[그림 2-1] 회전교차로 센터 조직구성도	10
[그림 2-2] 국내외 회전교차로 도입 및 발전	11
[그림 2-3] 호주의 회전교차로 신호운영 개념도	14
[그림 2-4] 미국의 회전교차로 증가추이	17
[그림 2-5] 호주의 회전교차로 신호운영 사례	17
[그림 2-6] 뉴질랜드의 회전교차로 신호운영 사례	18
[그림 2-7] Ramp Metering	20
[그림 2-8] 종합분석 결과	25
[그림 3-1] 연구개발 목표 및 전략	27
[그림 3-2] 신호미터링 운영 알고리즘 흐름도	28
[그림 3-3] Car Following Logic 이론	29
[그림 3-4] 신호미터링 운영 알고리즘 구현	30
[그림 3-5] 네트워크 구축	31
[그림 3-6] 효과평가 수행절차	32
[그림 3-7] 신호제어시스템 구성도	34
[그림 3-8] 진입제어 신호등 해외 설치 사례(잉글랜드, Huddersfield)	35
[그림 3-9] 셀프파워 시스템 신호 구성	36
[그림 3-10] 기술개발 로드맵	37
[그림 3-11] 추진전략체계	38
[그림 4-1] 거점 내 회전교차로 설치현황	42
[그림 4-2] 실용화 전략수립	44

제1장 기술의 정의 및 필요성

제1절 기술정의

1. “감응식 회전교차로 신호미터링 운영 알고리즘 기술개발” 정의

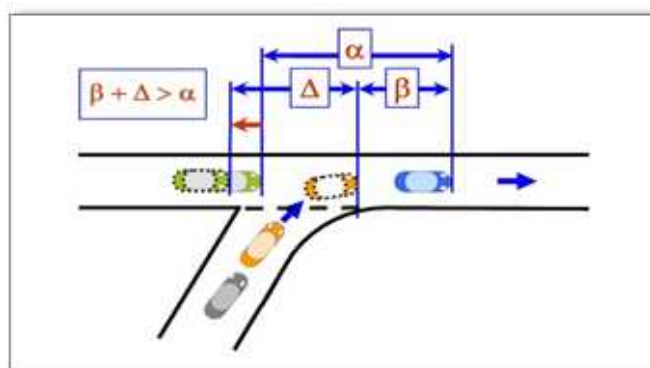
- 감응식 회전교차로 신호미터링(Signal Metering)이란 평상시에는 무신호 회전교차로로 운영되다가 불균등 교통상황발생(unbalanced flow conditions)시 또는 진입로별로 설치된 검지기(detector)에 차량 점유시(대기행렬 발생시) 통제진입로와 미터링진입로를 미터링 운영대안에 따라서 선정하고 미터링진입로에 적색시간 연장을 통해 회전차로 내 임계간격을 확보하는 방법임

가. 기본원리

- 회전교차로는 간격수락모형에 기초하여 불균등한 진입교통류로 인한 회전교차로 전체의 소통이 원활하지 못할 경우, 혼잡한 진입로 및 주변 진입로 통제하는 개념임
- 진입로별 설치된 검지기(detector)에 대기행렬(지체) 검지시 미터링진입로에 적색신호를 부여하여 진입교통량을 통제 차량 간 적정 간격 확보함

1) 간격수락모형(Gap Acceptance Model)

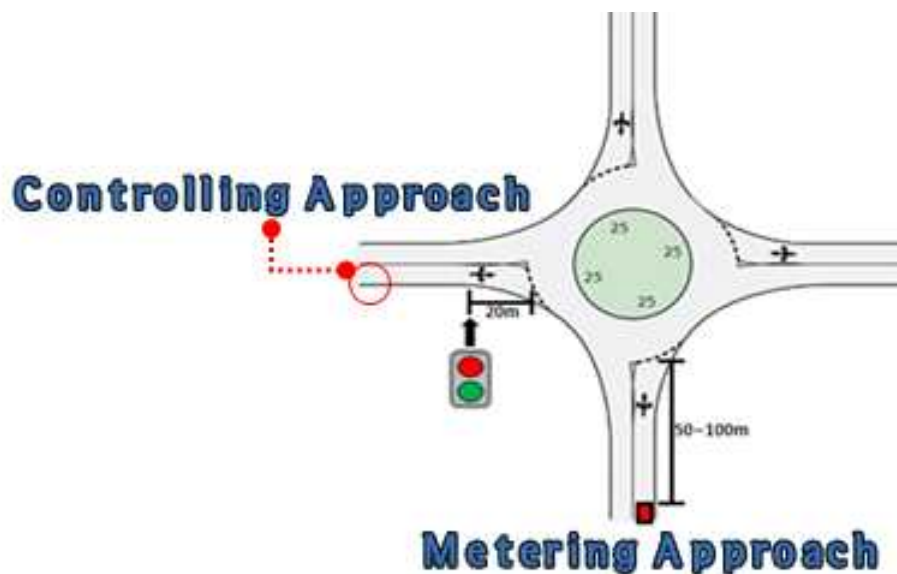
- α : 임계간격(critical gap)
 - 진입로에서 회전차로로 진입이 가능한 자동차들 간 차두시간의 최소값
- β : 추종시간(follow up headway)
 - 진입로에서 회전차로로 진입하는 자동차들 간 평균차두시간
- Δ : 회전차로 내 최소 차두간격(intra-bunch headway)
 - 자동차가 회전교차로 내에 진입 후 뒤따르는 후속 차량과의 최소간격



[그림 1-1] 간격수락모형(Gap Acceptance Model)

나. 운영원리

- 감응식 회전교차로 신호미터링 운영을 위해서는 통제진입로(Controlling Approach)와 미터링진입로(Metering Approach) 선정이 중요함
- 통제진입로와 미터링진입로의 선정은 가변적으로 접근로별 진입교통류 및 회전차로 내 회전교통류에 따라 변함
 - 통제진입로(Controlling Approach)
 - 일반적으로 회전교차로의 진입로 중에서 회전차로의 교통량 증가 또는 진입차로의 교통량 증가로 대기행렬이 가장 길게 발생하여 혼잡하다고 판단되는 진입로
 - 미터링진입로(Metering Approach)
 - 통제진입로의 소통해소 및 회전차로 내 임계간격 확보를 위해 진입통제가 필요한 접근로
 - 이때 미터링진입로에 설치된 신호등에 적색신호를 부여하여 진입을 통제하고 회전차로 내 임계간격을 확보



[그림 1-2] 통제진입로(Controlling Approach) 및
미터링진입로(Metering Approach) 개념도

2. ‘회전교차로 신호미터링’ 기술개발 분류

가. ‘감응식 회전교차로 신호미터링 알고리즘’ 기술개발

□ 회전교차로 제어전략 및 알고리즘 개발

- 진입로별로 설치된 검지기(detector)에 차량 점유시 즉, 대기행렬 발생시 통제진입로와 미터링진입로를 선정하고 미터링진입로에 적색시간 연장을 통해 회전차로 내 임계간격을 확보하는 것을 기본으로 함



[그림 1-3] 실시간 신호미터링 판단 알고리즘 순서도

□ 효과검증을 위한 Simulation 환경 구축

- 미시적 교통시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 활용한 알고리즘 효과검증을 위해 시뮬레이션 구축시 수치치도를 이용하여 Basemap을 설정 후 현실과 유사한 교통환경 네트워크를 구축함
- 실제 도로와 같은 환경을 만들기 위해 차선 수, 차선 폭, 제한속도, 도로의 고저(高低), 교통량 등을 입력 후 현장조사 Data를 이용한 검증을 실시함

□ Simulation을 활용한 신호미터링 운영 알고리즘 효과검증

- 신호미터링 운영 알고리즘에 대한 효과검증을 위해 평균제어지체를 평가척도로 설정하여 도입 전·후를 비교·분석함
- 알고리즘 효과검증 후 테스트베드 적용함

나. ‘회전교차로 신호제어 소프트웨어’ 기술개발

☐ 교통수요 검지체계 개발

- 주요 교통수요 유발 진입부에 설치되는 비매설형 기반의 검지기로 회전교차로의 진출·입하는 차량의 정보를 수집하여, 통과 교통량 및 교통밀도를 측정하고, 진입부의 차량지체 및 대기길이를 측정할 수 있는 검지체계 개발이 필요함
- 비매설형 검지기로 회전교차로를 진입/진출하는 차량을 동시에 검지하는 검지체계 개발함

☐ 회전교차로 진입신호 제어시스템 개발

- 회전교차로 진입신호 제어시스템은 “비매설형 검지기”와 제어기를 연결하여 일체형으로 구성하고, 회전교차로에 진입 및 진출하는 차량의 정보를 검지기로부터 전달받아, 다른 진입부에 설치된 “진입통제 신호등”을 이용하여 차량의 진입을 통제하는 제어기능을 수행함
- 또한 교통신호기 표준통신프로토콜을 이용하여 교통관제센터와 연동하여, 모든 제어정보 및 동작 상태를 센터 운영자가 관리할 수 있도록 함

☐ 회전교차로 진입통제 신호등 개발

- 회전교차로의 진입부에 설치되어 차량의 진입을 제어하는 신호등의 개발이 필요함
- 회전교차로 신호등체계는 관련기관(경찰청, 도로교통공단)의 승인을 얻는 방식으로 개발이 필요함
- 태양열을 통한 자가발전 시스템을 통해(Solar Power system)의 무선통신 기능을 가진 회전교차로 진입통제 신호등 개발함

다. ‘감응식 회전교차로 신호미터링 관리 및 운영’ 기술개발

☐ 테스트베드(Test-Bed) 구축기술개발

- 회전교차로 설치 이후 주변 토지이용변화 등에 따른 교통량 증가로 늘어난 통행시간 및 지체로 불편을 겪고 있는 대상지에 신호미터링 시스템을 설치하여 성능을 평가하고 개발기술의 운영상 문제점 파악 및 보완 과정을 거쳐 개발기술을 안정화하는 단계임
- 테스트베드 대상지선정, 테스트베드 설계 및 구축, 운영전략 수립, 운영 및 성능평가, 테스트베드 안정화, 효과평가 등의 연구를 수행함

☐ 설치 및 운영 매뉴얼 개발

- 회전교차로에 신호미터링 설치 및 운영을 위해 적절한 교차로 선정, 해당 교차로 교통여건에 적합한 최적의 신호미터링 설계 및 설치하기 위한 제반지식을 제공하는 매뉴얼을 개발함

제2절 기획의 필요성

1. 기획 배경

□ 회전교차로(Roundabout)의 확대

- 회전교차로는 평면교차로의 일종으로 신호등 없이 차량들이 교차로 중앙에 설치된 원형 교통섬을 중심으로 회전하여 통과하는 교차로 형식임¹⁾
- 회전교차로는 신호교차로에 비해 유지관리 비용이 적으며, 사고의 심각도가 낮아 교통 안전수준이 향상되고 지체시간 감소로 인한 통행속도 증가 및 배기가스를 줄이는 등의 장점을 가지고 있음
- 회전교차로는 2010년도 시범사업을 시작으로 국내에 도입되기 시작하여 그 효율성과 안전성을 인정받아 점차 확대 설치되고 있는 상황임
 - 전국 회전교차로 시범사업 2010년~2012년(3년), 활성화 사업 2013~2022년(10년)
- 국가경쟁력 강화위원회의 “녹색교통을 위한 회전교차로 활성화 방안(2009)”에 따라 전국적으로 회전교차로 설치가 이루어지고 있음
- 국민안전처와 한국교통연구원에 따르면, 2013년 공사를 완료한 「회전교차로* 설치사업」 대상지 96개소에 대한 사업 전·후 효과분석 결과 사업시행 전인 2012년에는 교통사고가 100건이 발생하였으나, 사업시행 후인 2014년에는 52건으로 48%(48건)가 감소되었고, 사상자수도 2012년 155명에서 2014년 85명으로 45.2%(70명)가 감소하는 등 교통안전성과 교통소통 측면에서도 효과가 큰 것으로 분석됨
- 이에 따라 국민안전처는 교통사고 예방을 위해 2010년부터 지난해까지 전국에 회전교차로 443개소를 설치하였으며, 2022년까지 **1,149개소 추가로 설치할 계획(안)**을 발표함



[그림 1-4] 회전교차로의 효과

1) 국토해양부(2013), 도로용량편람, pp.490-521

☐ 회전교차로 효율성 저하

- 현재 국내에 설치되는 회전교차로는 Korean Roundabout Design Guideline(2014)에 따라 설계되고 있으며, 이 지침에는 다양한 설계요소에 대해 기준을 제시하고 있음
 - 그 중 가장 중요하다고 할 수 있는 회전교차로 설치를 위한 교통량 기준으로 12,000~32,000대/일의 계획교통량을 제시하고 있으며, 접근로 차로 당 125~450대/시/차로로 제시하고 있음
- 회전교차로는 회전차로 내에 회전하는 자동차가 있을 경우, 교차로에 진입하는 자동차는 양보해야하는 원리로 회전하는 자동차에 통행 우선권이 부여되는 것임
- 이에 따라 회전교차로는 용량 이하의 상태에서 진입로별 교통류가 불균등해질 경우 진입로에서 교차로 내부로 진입하려는 자동차의 진입이 어려워져 효율성이 떨어짐
- 일부 지자체에서 첨두시 또는 명절(이벤트 상황)에 따른 회전교차로 역효과로 인한 지체 증가로 불만의 목소리가 커지고 있는 실정임

☐ 운영 및 관리방안에 대한 기술개발 부족

- 국내 회전교차로 설치 후, 운영체계 및 관리방안에 대한 연구는 부족한 상황임
- 국가적 차원에서 실시되고 있는 회전교차로를 대상으로 교통정체의 발생 원인과 해소에 따른 대응방안 및 운영관리체계에 대한 수립은 경제적 측면, 정책적 측면, 사회적 측면에서 시급하며 민간부문에서 해결할 수 없는 한계가 있음
- 전문적인 지식 뿐만 아니라 실제 테스트베드 구축을 통해 신뢰성 있는 결과 도출하여 회전교차로 운영 및 관리에 대한 기술개발이 필요함

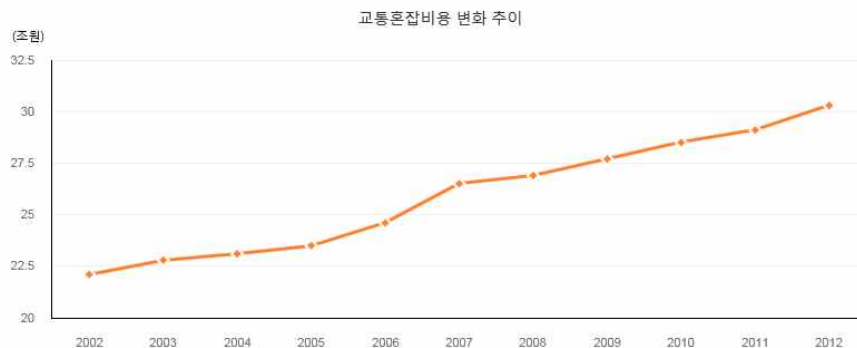
2. 기획목적

- ☐ 회전교차로의 설치 이후 주변 토지이용변화에 따른 교통량 증가, 첨두시간대의 교통량 집중, 각종 지역 행사들에 의한 교통량 증가로 인해 회전교차로의 효율성이 떨어져 신호교차로 설치에 대한 검토가 이루어짐
- ☐ 신호교차로 설치에 대한 재검토 전에 회전교차로 본래의 기능을 최대한 유지하면서 차량소통을 제고하기 위한 감응식 신호미터링(Signal Metering)운영 알고리즘 기술 개발하고자 함
- ☐ 교통 여건에 적합한 최적의 신호미터링 설계 및 설치하기 위한 제반지식을 제공하는 메뉴얼을 개발하고자함
- ☐ 이를 기반으로 시스템표준을 구축하고 이를 각 지자체에 보급해 나가하고자 함

3. 기획의 필요성

가. 지체에 따른 혼잡

- 2016년 현재 우리나라의 대부분의 도로에서 출·퇴근 및 유고상황에 따른 교통정체가 심각한 상황이며, 국민 불편을 가중시키고 있어 국가적 대책이 불분명함
- 우리나라에서 발생하는 간선도로망의 교통정체의 주요 원인은 현격한 교통수요의 방향별 불균형과 진출입 연결로 구간에서 발생하는 병목현상에 기인함
- 2012년 기준 전국교통혼잡비용이 33조 4천억원으로 2010년 이후 지속적으로 증가하고 있고 이 중 도시부도로가 약 21조3천억원으로 63.8%를 차지하고 있음



[단위 : 조원,%]

구분	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
교통혼잡비용	24.6	26.5	26.9	27.7	28.5	29.1	30.3
전년대비 증감률(%)	4.7	7.7	1.5	3	2.9	2.1	4.1

[그림 1-5] 교통혼잡비용 변화추이

출처 : 한국교통연구원 「전국 교통혼잡비용 산출과 추이 분석」,
http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1248

□ 교통혼잡 발생과정

- 교통혼잡은 정체원점(소통저해 요인이 발생한 지점 또는 구간)에서 진입도로, 인접도로 순으로 확산/심화되어 정체 구역이 발생 되는 특성이 있음
- 근원적/이벤트성 요인에 의해 특정 지점 또는 선/축단위에서 1차 정체가 발생되고 1차 발생된 교통 혼잡이 조기에 해소되지 못하면 정체원점으로의 진입도로 및 인접도로로 확산되어 소통불능(Traffic Jam)으로 전이됨

- 회전교차로 특성상 적은 교통량에 효율적으로 운영되지만 교통량 증가로 인한 정체지점 발생 시 단시간 내 정체구간이 발생되고 적절한 대응이 이루어지지 않으면 소통불능 상태로 진화됨
- 도심지내 혼잡 유발요인에 의해 상시/비상시적으로 발생하여, 순차적 또는 동시다발적으로 정체범위가 확산됨
- 회전교차로 설치 이후 토지이용변화에 따른 교통량 증가로 인한 반복정체 해소를 통해 통행시간의 단축과 불필요한 대기 및 지체를 감소시키기 위한 신호체계 운영 기술이 요구

나. 신개념의 회전교차로 신호운영관리 전략 및 기술 요구

- 무선통신, 센서, 검지기(Detector) 등 각종 첨단기술의 발전에 따라 기술을 유연하게 적용하여 새로운 개념의 회전교차로 운영관리 전략의 기술개발이 요구됨
- 또한, 회전교차로에 적용된 새로운 기법의 교통신호제어 전략 알고리즘 개발에 따라 이의 효율성을 평가할 수 있는 효율성 평가시스템 개발 역시 필요함

다. 연구개발 지원의 필요성

- 회전교차로의 원활한 교통소통을 위한 지·정체개선 및 효과적인 운영은 국가차원의 책임이자 주요한 부분으로써, 현재 설치운영 계획이 있는 회전교차로에서 다양하게 나타날 수 있는 문제점을 처리하기 위한 기술은 정부차원에서 연구개발 및 시범운영하는 것이 타당하다고 판단됨
- 지방부 및 도시부 회전교차로의 교통류 분석과 함께 지역행사 및 축제 등 불균등한 교통류 발생 시 교통처리를 위한 실시간 신호미터링(Signal Metering) 기술 진행정보를 정부차원에서 지속적으로 관리한다면 향후에도 이 정보를 활용하여 회전교차로 신호미터링 운영기술 발전에 도움이 될 것으로 기대됨
- 본 기획연구를 통해 테스트베드를 실제 구축하여 현장에 적용하고 시험운행을 통해 상세분석을 실시하여 효율적인 결과를 도출함

제2장 국내외 동향 및 환경분석

제1절 국내외 정책 및 연구

1. 국내 정책동향

- 2014년 7월 국가통합교통체계효율화법 제 94조에 의해 중장기 법정계획을 수립한 “제3차 국가교통기술개발계획(2014~2018)”²⁾에 제시된 ①교통기술의 선진화 및 국가경쟁력과 직결된 교통혼잡비, 사고비용, 물류비 등을 감축하고, 국민의 교통편의 증진을 위해 교통기술을 적극적으로 개발·육성 ②인구구조 변화, 에너지 문제, 글로벌 시대, 기술의 융·복합 등 미래사회 변화 예측에 따른 구체적인 기술개발 계획, ③지속가능하고 효율적인 교통체계를 구축하는 한편, 전반적인 국가교통기술 개발 교통기술 개발목표 및 방향 설정, 추진전략, 투자계획 제시, 투자효율화 방안, 기술개발 기반조성 등 교통체계를 근본적 혁신 등을 주요내용으로 다루고 있음
- 2016년 8월 도로법 제5조에 따라 “제1차 국가도로종합계획(2016~2020)”³⁾을 수립함, 도로 현황, 기존계획 평가, 장래 전망, 해외 정책사례 등을 토대로 경제, 안전, 행복, 미래를 핵심가치로 하는 4대 추진계획 제시 ①효율적인 투자로 경제성장 지원 ②철저한 안전관리로 사고예방, ③원활하고 쾌적한 도로서비스 제공, ④다음세대를 준비하는 미래도로 구축

가. 회전교차로 관련 사업

- 회전교차로 활성화 방안 및 설계지침 개발연구 용역 추진
 - 2010.02~2011.07 한국교통연구원, 한국건설기술연구원
 - 2010년 12월 『회전교차로 설계지침』 발간 및 배포
- 회전교차로 설계지침 개정(한국기술연구원)
 - 2014년 12월 『회전교차로 설계지침』 개정 및 배포
- 2015년부터 일교통량 15,000대/일 미만인 일반국도에 회전교차로 설치
- 회전교차로 시범사업 추진(2010~2012년, 매년 약 90여 개소)
- 회전교차로 활성화 사업 추진(2013~2022년, 매년 약 130여 개소)

2) 국토교통부 고시 제2014-428호, “제3차 국가교통기술개발계획(2014~2018)”

3) 국토교통부 고시 제2016-578호, “제1차 국가도로 종합계획(2016~2020)”

나. 회전교차로 지원센터

□ 회전교차로 정책지원 및 지자체 협력팀

- 회전교차로 사업 기술 및 전문인력 지원(대상지 선정, 설계 및 시공 자문)
- 회전교차로 관계자 교육 및 홍보
- 홈페이지를 통한 회전교차로 홍보 및 사업지원 활용

□ 회전교차로 조사 및 DB구축팀

- 회전교차로 홈페이지 구축 및 운영
- 관련문헌, 기존 연구결과 등 회전교차로 관련 자료 업로드
- 회전교차로 관련 DB구축
- 이용실태조사분석 및 사전·사후 효과분석에 따른 문제점 검토 및 보완연구 수행

□ 회전교차로 연구팀

- 회전교차로 활성화 및 확대를 위한 센터 운영 전략 수립
- 회전교차로 활성화를 위한 연구사업 발굴 및 추진
- 매년 건설될 예정인 국내 회전교차로 도입 사례 분석 및 사례집 발간
- 사업관련 부처 및 지자체 의견 수렴을 통한 문제점 검토 및 보완 연구 수행
- 회전교차로 설계 및 설치 관련 세부사항을 종합하여 매뉴얼 작성 및 업데이트
- 센터소개, 회전교차로 설명, 국내 회전교차로 시설정보, 통계 및 효과분석, 자문요청, 자료실, 참여마당 <http://www.roundabout.or.kr/> (모바일 접속 가능)

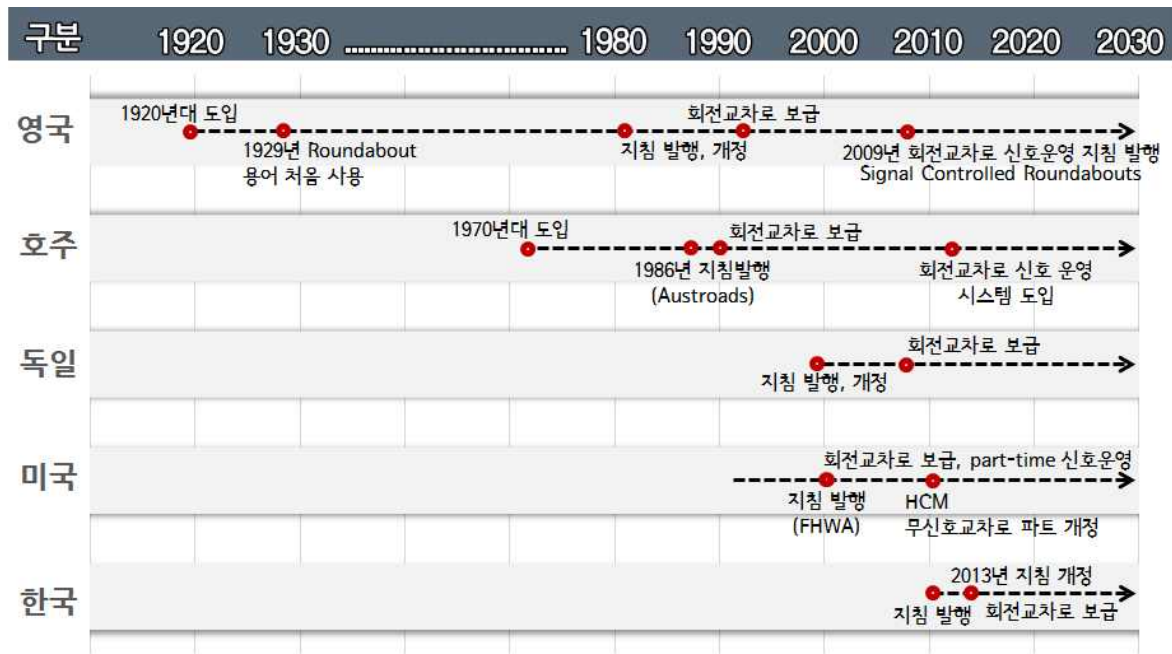


[그림 2-1] 회전교차로 센터 조직구성도

2. 국외 정책 및 연구동향

- 1903년 프랑스의 건축가 외젠 에나르에 의해 최초로 제안된 회전교차로는 영국과 독일 등 유럽을 거쳐 호주와 미국 등에 도입되면서 더욱 안전하고 경제적인 교통 인프라로 형성됨

□ 국내·외 다양한 회전교차로 유형과 도입⁴⁾ 및 발전은 다음과 같음



[그림 2-2] 국내·외 회전교차로 도입 및 발전

가. 유럽

- EU 집행위는 2050년까지의 EU 교통·물류 분야 장기계획을 제시하는 2011년 교통백서⁵⁾(Transport 2050 : Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a competitive and resource efficient transport system)를 발표함
- EU 집행위는 상기 백서를 통해 유럽 교통의 이동성(mobility)를 증가시키면서도 배출가스(emission)의 양은 감소시키기 위해 2050년까지 통합된 단일유럽교통지역(Single European Transport Area)을 구축한다는 장기 비전을 제시하고, 유럽 교통 시스템의 효율성 제고 및 경쟁력 강화를 위한 교통수단별 10대 구체목표 및 세부적인 이행 전략을 제시함

4) 유정호(2011), 다양한 유형의 국외 회전교차로와 도입 경위, 월간교통, 4-4

5) European Community(2011), White Paper on Transport-Roadmap to a Single European Transport Area)

- 경쟁력 있고 효율적인(competitive and resource efficient) 교통 시스템 구축을 위한 이동유형별 10대 목표 제시
 - 도시 내 재래식연료 사용(conventionally fuelled) 차량을 2030년까지 50% 수준으로 감소하고, 2050년까지는 완전 퇴출(phase out)
 - 도시 내 교통사고 사상자 수를 2020년까지 50% 수준으로 감소시키고, 2050년까지 교통사고 사망률 0%(zero fatalities) 근접
 - 도로화물(road freight)을 철도 및 수상 등 여타 교통수단으로 전환(2030년까지 30%, 2050년까지 50%)
 - 2050년까지 중거리 승객 대부분을 철도로 전환, 이를 위해 2030년까지 유럽내 고속 철도망을 현재의 3배로 증설
 - 2030년까지 범 EU 교통수단간 연계망(EU-wide multimodal network)인 TEN-T를 완전 구축하고 정보서비스 제공
 - 2050년까지 핵심 공항-철도망(고속철도 포함)간 연결 시스템 및 핵심 항만-철도 화물운송 간 연결 시스템 완전 구축
 - 2020년까지 유럽 교통수단간(multi-modal) 정보, 관리 및 지불 시스템 구축
 - 교통 분야에서의 왜곡 제거를 위해 '오염자 및 사용자 부담 원칙(polluter pays & user pays)'의 적용을 확대
 - 2050년까지 항공 분야에서의 저탄소연료 사용률을 40%까지 증대
 - 2020년까지 58개국(인구 10억)을 포괄하는 유럽 단일항공지역(European Common Aviation Area) 구축을 완료하고, 아울러 현대화된 항공관제시스템(SESAR)도 구축
- 유럽 국가들은 효율적인 범유럽 교통체계를 구축하고, 교통안전, 환경 등 교통 분야에 대한 회원국들의 관심사항을 논의함과 동시에 공동대응방안을 모색하기 위하여 1953년부터 매년 유럽교통장관회의(ECMT : European Conference of Ministers of Transport)를 개최하고 있음
- 교통 환경과 에너지, 교통의 지속가능성, 기후변화와 교통과 에너지 등 넓은 의미에서 교통의 지속가능한 글로벌 이슈가 많이 논의되고 있음

□ 영국

- 1920년대 도입되어, 1929년에 'Roundabout' 용어를 처음 사용하였음
- 회전차량에 대한 우선권으로 회전교차로의 활성화에 선도적인 역할을 하였으며, 회전교차로의 안전성 향상 및 자전거, 보행자를 위한 회전교차로 연구가 많이 진행되어왔음
- 매직 회전교차로 및 신호에 의한 회전차로 출입제어 등 비정형화된 회전교차로가 도입되어 이에 대한 선행연구가 많이 진행되어있는 상황임

- TRL은 교통 관련 다양한 분야(도로, 차량, 환경, 안전, 수송수단, 환경, 지속 가능성, 교통 인프라 등)의 연구를 수행하는 기관임
- TRL의 회전교차로 연구⁶⁾
 - 회전교차로 테스트 트랙을 설치하여 회전교차로에 대한 지속적인 연구수행을 통해 다양한 회전교차로를 연구하여 실제 도로에 적용함
 - 회전교차로를 구현하는 시뮬레이션 ARCADY를 개발하여 회전교차로 기하구조 및 효과 평가 시 활용함
- HIGHWAYS AGENCY의 Design Manual for Roads and Bridges : Volume 6 Part3 지침에 따라 설치함
- 현재 영국에 약 18,000여개가 설치되어 있으며, 지속적으로 확대 설치계획임

□ 프랑스

- 회전교차로 숫자가 가장 많으며, 80년대부터 회전교차로 건설을 본격화 하여 매년 1,000개 이상의 회전교차로를 건설하고 있음

□ 독일

- 1998년 1차로에 대한 설계지침을 제시함
- 2006년 4가지 유형으로 구분된 회전교차로 지침을 제시하였음
 - 보행자 및 자전거 이용자에 대한 배려 및 비정형화된 회전교차로 운영

나. 미국

□ 교통기술 정책방향

- 1992년에 경제적 효율성, 에너지 절약, 친환경적 국가교통체계 구축을 정책목표로 설정하여 2005년 이후 이동성 강화, 교통안전, 자연환경보전, 국가안보유지, 교통 혼잡 해소, 연계수송 원활, 지능형 교통체계, 대기오염 개선 및 대중교통체계 강화를 강조하며 교통안전 Zero 달성을 위한 국가 Safety 프로그램 전략 수립, 종합교통효율화법에 교통혼잡 개선을 위한 재원 규정함
- DOT Strategic Plan(2014-2018) 전략목표는 안전, 유지관리, 경쟁력 제고, 살기 좋은 사회, 지속가능 환경 등으로 구성하여 추진
- 청정에너지·안보법안에서는 2030년까지 교통부문 온실가스배출량 40% 감축을 목표로 설정하고 다양한 온실가스 감축 정책 실시
 - 매년 5% 연비향상 계획 추진(2012 ~ 2016)하여 온실가스 배출량 16.1km/L 도달을 계획함

6) 출처 : TRL의 회전교차로 연구, <https://trl.co.uk>

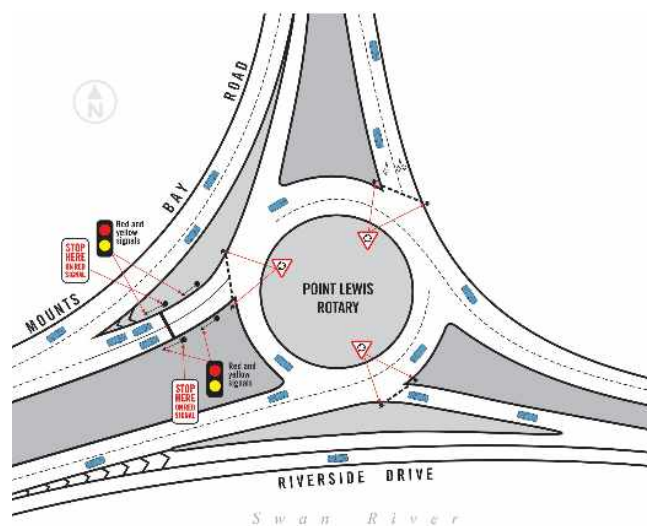
- 도로, 철도, 항공 인프라를 개선하고 확대하는 계획을 핵심으로 “교통부문 미래비전 (Renewing and Expanding America’s Roads, Railways and Runways)” 발표

□ 회전교차로 관련 정책

- 로터리의 시초 국가이지만 1980년도에 정체 및 사고위험으로 점차 사라졌음
- 1990년대 유럽의 영향으로 재논의 되어 시작되었으며, 약 5,000여개의 현대식 회전교차로가 설치되어 있으며 중앙정부 차원에서 장려하고 있음
- ‘Federal Highway Administration’s Roundabouts An Informational Guide’ 를 통해 회전교차로 설계 지침 및 운영방식을 설명하고 있음
 - 회전교차로 신호운영에 대한 내용도 담겨있음 (part 8)

마. 호주

- 1970년대 몇몇 지역에 도입되어 1986년 처음으로 지침을 발표함
- 호주는 회전교차로 신호미터링을 적용하여 운영하고 있으며 교차로 전체 통과교통량이 높은 교통량 수준의 교차로를 대상으로 첨두시 및 비첨두시 교통량 차이가 많은 교차로에 첨두시에만 part-time 형태로 신호미터링을 운영하도록 함
- 회전교차로 신호미터링은 첨두시 교통관리에 적합하여 교차로 전체 접근로의 대기행렬과 지체시간의 균형측면에서 일반 회전교차로보다 더 효과적인 것으로 나타났으며 회전교차로의 수명을 연장할 수 있는 방안으로 제시됨
- ‘Point Lewis Roundabout’ 에 처음으로 Signal Metering을 도입⁷⁾하여 운행 중에 있음



[그림 2-3] 호주의 회전교차로 신호운영 개념도

7) 출처 : ‘Point Lewis Roundabout’ Signal Metering 적용, <https://www.mainroads.wa.gov.au>

제2절 국내외 시장현황 및 전망

1. 국내 시장현황 및 전망

가. 국내 회전교차로 시장동향

- 회전교차로는 안정성, 교통정체 감소 및 사고감소 등 그 효과를 인정받아 국내에 회전교차로 설치가 활발하게 진행되고 있음
- 하지만 기대와는 달리 차량통행이 많은 출·퇴근 시간대 및 명절, 이벤트 상황 발생 시 오히려 차량 정체가 더 심해 이용자들의 불편을 초래하고 있는 실정임
 - 회전교차로의 정체현상을 피하기 위해 우회하는 차량이 늘면서, 주변 도로 및 골목길까지 막히는 문제점을 파생시키고 있음
- 현재 세종시, 공주, 아산, 울산, 양평 등 일부 지자체에서 회전교차로의 역효과로 인한 시민들의 불만의 목소리가 높아지고 있음
- 연도별 회전교차로 설치현황⁸⁾
 - 6개년 17개 시·도 443개소에서 회전교차로 도입
 - 2020년까지 1,149개소으로 설치될 예정

[표 2-1] 연도별 회전교차로 설치현황

년도	사업물량	예 산(억원)		
		계	국비	지방비
2010년	87개소	172	99	73
2011년	97개소	250	125	125
2012년	85개소	184	99	85
2013년	96개소	247	130	117
2014년	54개소	153	73	80
2015년	24개소	68	34	34
계	443개소	1,124	582	842

출처 : 한국교통연구원 회전교차로 정책연구지원 사업(www.roundabout.or.kr)

8) 한국교통연구원 회전교차로 정책연구지원 사업, 통계 및 효과분석, 회전교차로 현황, <http://www.roundabout.or.kr/>

나. 신호관련 시장동향

- 현재 국내 신호운영체계로는 1990년대 이후 서울시 교통혼잡 해소방안으로 제시된 한국형 실시간 신호제어시스템인 COSMOS를 표준으로 하여 지자체 중심으로 신호관제 시스템을 구축, 운영하고 있음
- COSMOS는 전통적인 매설방식의 루프검지기 정보를 기반으로 교차로 내 포화도 기반의 신호운영전략으로 차량증가, 교차로 사고 등의 과포화 상태 및 혼잡상황, 복잡한 도시 가로망에 대한 전체적인 효율성을 증대시키는데 한계가 있음
- 대부분의 신호교차로의 경우 현재 기술적으로는 실시간제어(Real Time Control), 시간대제어(TOD Control), 고정식 제어(Manual Control)의 운영기법 구현이 가능하나 현재 고정식 제어방법을 사용하고 일부구간에서 시간대제어 방법을 사용하여 교통 신호운영에서 낙후되어 있음
- 현재 운영 중인 신호운영체계의 비효율성은 COSMOS 기반인 매설식 루프검지기의 한계로 인한 것으로 이를 대체하는 검지체계 및 신호운영 체계도입의 필요성이 점차적으로 증대하고 있음
- 최근 통신기술의 급속한 발전과 하이패스, UTIS 단말기 보급확대와 지자체 ATMS, UTIS 구축사업 확대에 따른 실시간 무선통신을 기반으로 개별차량 정보기반의 검지체계가 점차적으로 확대되고 있으며, 민간의 교통정보 사업으로 인한 통행 정보가 생성되고 있음
- 국내 교통신호 제어체계는 1980년 서울 종로구에 50개소의 전자 신호기가 도입된 이래 도심의 교통혼잡 관리에 중요한 역할을 수행하여 왔으며, 경찰청의 표준제어기 규격은 2004년 7월에 발효되어 2005년 3월부터 본격 시행되었으며, 현재 2010년형 표준제어기로 시스템을 교체 중에 있음

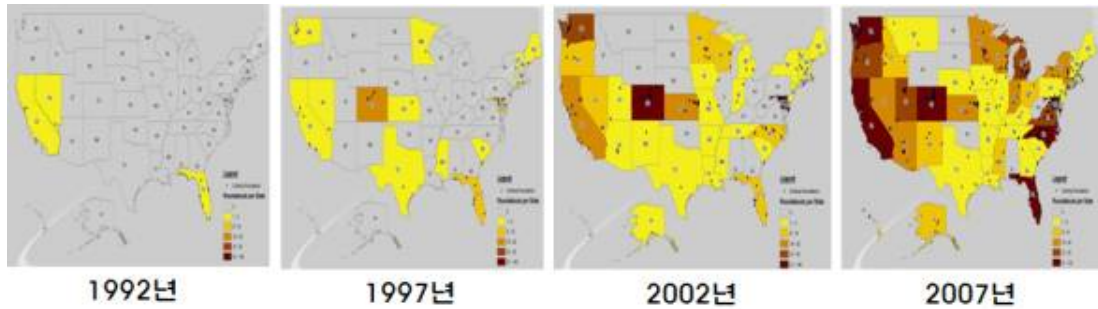
2. 국외 시장현황 및 전망

- 국외 회전교차로는 로터리의 문제(지·정체발생)를 해결하기 위하여 1970년대 초 영국에서 가장 먼저 설치하기 시작하여 그 효과가 입증되면서 유럽, 미국, 캐나다, 호주 등 세계적으로 확대되고 있음
- 영국의 경우 현재까지 약 26,000여개의 회전교차로를 설치하여 운영 중에 있음⁹⁾
- 프랑스는 1994년 약 1,200개의 회전교차로 설치를 시작으로 매년 1,500개 이상의 회전교차로를 설치하였으며 2005년에 약 25,000개를 설치하였으며 현재 약 32,000여개 이상의 회전교차로를 운영하고 있어 세계에서 가장 적극적으로 회전교차로를 설치하고 있음¹⁰⁾
- 특히 인구 30만명 수준의 낭트시에 667개의 회전교차로를 운영하고 있음

9) <http://www.roundaboutsusa.com/history.html>

10) 회전교차로 활성화 방안 연구, 한국교통연구원, 2011, 144p

- 미국은 1990년대에 유럽과 호주 등의 회전교차로가 성공적으로 운영되어 이를 벤치마킹하여 설치하기 시작하였으며 현재 중앙정부 차원에서 회전교차로 설치를 장려하고 있음
- 인구 8만명의 미국 인디아 주 Carmel 도시는 80여개의 회전교차로를 설치하여 운영하고 있으며 주로 연속적인 네트워크형 회전교차로를 운영하고 있음
 - 현재까지 약 4,800개의 회전교차로를 설치하여 운영하고 있음¹¹⁾



[그림 2-4] 미국의 회전교차로 증가추이

자료 : <https://mywheelsareturning.com/tag/roundabout/>

- 호주는 1970년대에 회전교차로를 도입하여 캔버라에 220여개 이상, 브리즈번에 600여개 이상 설치되어 있으며, 정부에서는 지속적으로 확대 설치할 계획임
- 호주는 회전교차로 신호미터링을 적용하여 운영하고 있으며 교통량 차이가 많은 교차로에 첨두시에만 part-time 형태로 신호미터링을 운영하도록 신호미터링을 위한 분석 및 설치 가이드라인이 제시되고 있음
- 회전교차로 신호미터링은 첨두시 교통관리에 적합하여 교차로 전체 접근로의 대기행렬 및 지체시간의 균형측면에서 일반 회전교차로보다 더 효과적인 것으로 나타났다으며 회전교차로의 수명을 연장할 수 있는 방안으로 제시됨



[그림 2-5] 호주의 회전교차로 신호미터링

자료 : Roundabout in Australia, Queensland University of Technology, 2014 회전교차로 세미나 발표자료

11) <http://www.roundaboutsusa.com/history.html>

- 뉴질랜드는 호주와 같이 1970년대에 회전교차로를 도입하여 운영하고 있으며 일부 회전교차로를 대상으로 신호미터링 시스템을 적용하여 운영하고 있음



[그림 2-6] 뉴질랜드의 회전교차로 신호운영 사례

- 스웨덴은 영국 및 프랑스에 비해 뒤늦게 회전교차로를 도입하기 시작하였으며 현재 약 1,500여개의 회전교차로를 설치하여 운영하고 있음

[표 2-2] 국가별 회전교차로 설치현황

국가	회전교차로 수
프랑스	약 32,000개
영국	약 26,000개
미국	약 4,800개
스웨덴	약 1,500개
호주(캔버라, 브리즈번)	약 820개

자료 : 회전교차로 정책연구 지원사업(www.roundabout.or.kr)

3. 시사점

□ 국내외 시장동향 분석 결과

- 세계적으로 회전교차로 설치는 증가 추세에 있으며 기존에 설치된 회전교차로를 좀 더 효율적으로 운영하기 위해 회전교차로에 신호미터링을 설치하여 운영하는 국가들(영국, 호주, 뉴질랜드)도 증가하고 있는 추세임
- 하지만 국내의 경우 회전교차로의 설치만 있을 뿐 침두시 또는 이벤트 상황 발생 시 회전교차로의 역효과에 대한 해결방안이 제시되고 있지 않은 실정임
- 이에 본 연구에서 제시한 회전교차로에 신호미터링 운영을 할 경우 회전교차로의 역효과에 대한 불편을 겪고 있는 지자체에 확대 설치한다면 회전교차로 신호미터링 시장의 성장 가능성은 매우 높음

제3절 기술동향분석

1. 기술동향분석

□ 신호제어기 관련 동향

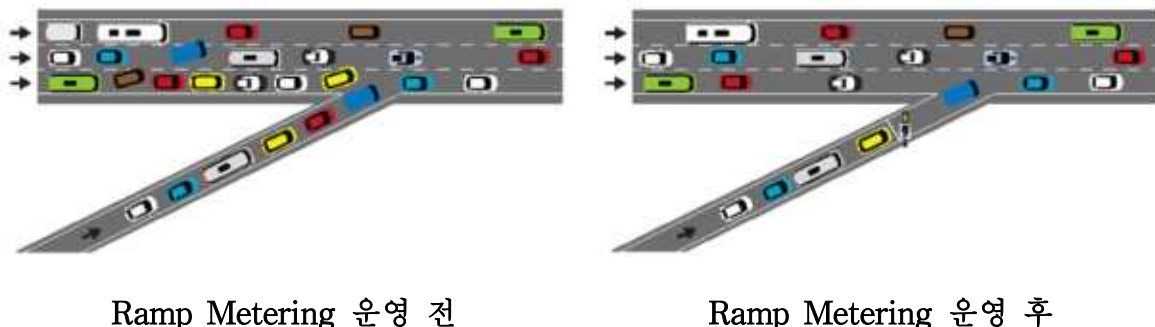
- 국내 신호제어기는 1980년대 검지기체계를 갖춘 일반 신호제어기로 출발하여 전자 신호제어기(2세대), 실시간 신호제어기(3세대) 형태로 발전하였음
- 경찰청에서는 2004년 2월 표준신호제어기 규격서를 제정/배포하였고, 2010년 7월 신호제어기 규격을 추가로 개정하였음
- 검지기를 이용한 신호제어시스템은 사전 정의된 시간대별 패턴에 의한 TOD(Time of day) 제어방식과 검지기의 교통량 자료를 바탕으로 한 상황별 패턴선택제어(Automatic pattern selection mode) 방식이 전자신호체계에서 활용되기 시작하였음
- 국내 신호시스템은 신호체계의 합리적인 운영을 위하여 한국형 신호제어시스템인 실시간 신호제어시스템(COSMOS)을 구축 운영하는 추세임
- 국내의 대도시 및 지방도시에 구축되고 있는 실시간 신호제어시스템은 정주기식, 패턴 선택식, 교통 대응식 신호운영전략을 운영자가 판단하여 교차로의 소통상황 별로 선택적으로 적용할 수 있는 시스템으로 개발되었으나, 매설식 지점검지기의 유지관리 등의 문제로 인해 현재 제대로 운영되고 있지 못한 실정임
- 국내관련 기술은 R&D 사업에서 무선통신 기술이나 V2X 통신기술을 응용한 교통류 관리에 관한 기술개발이 이루어져 왔으나 회전교차로 및 다양한 유형의 교차로에 반영되지 못한 제한된 테스트 환경 및 기술개발의 연속성이 미비함

□ IT 기술을 이용한 데이터 수집 기술

- 국내의 경우 국가교통센터에서 IT기술을 이용하여 수집, 산출한 도로구간별 속도 및 통행시간에 대한 실시간 데이터 및 통계 데이터를 제공
- 우리나라는 국가차원의 교통체계지능화(ITS) 사업을 추진 중에 있으며 현재 서비스 분야 정의, 시스템 아키텍처 계획, 연구개발 계획, 표준화 산업화 계획, 투자소요 및 재원 조달 방법 등을 지속적으로 추진
- 국내의 IT기술은 개별 차량 및 노선의 교통정보의 수집 및 제공에 관한 인프라 시설에 긍정적 영향을 줄 것이며, 이에 따라 토지이용의 변화 및 이벤트 상황에 따라 급변하는 교통흐름을 반영한 새로운 교통제어 기술의 개발 및 서비스 창출을 위한 관련 기술의 개발이 필요함

□ 국내 · 외 Metering 기술

- 현재 우리나라의 Metering 기술은 도시고속도로 진입부에 설치된 신호기에 의해 진입교통량을 통제하는 방식임
- 신호교차로는 고속도로의 진·출입 교통량에 따라 혼잡이 발생할 수 있기 때문에 연속류 상황에 적합한 진출입부 신호교차로 및 이들과 인접한 신호교차로들과 동적으로 연계되어 운영되어야 하나, 국내 도시고속도로에 인접한 신호교차로는 이러한 상황을 반영하지 못하고 있는 실정임
- 미국의 경우 1963년 시카고의 아이젠하워에서 램프미터링을 처음으로 실시하였으며, 램프 미터링을 통한 연속류의 교통안정과 지체 최소화를 위한 많은 연구가 있었고, 1991년 Papageorgiou 등¹²⁾에 의해 개발된 ALINEA 제어기법을 지속적으로 보완하는 연구가 수행되어 왔음
- 램프미터링을 수행하는 연속류 주변의 신호교차로에서 연속류의 교통량에 따라 동적으로 가변하며 램프미터링의 대기행렬을 최소화 하는 신호제어 전략을 개발하고 램프미터링과 신호교차로 간의 통합 신호제어 시스템을 개발하였음
- 유럽의 경우 개별램프의 효율적인 운영에 관심을 갖고 운영기준은 속도뿐 아니라 교통수요를 판단하는 점유율로 신호운행을 판단함
- 일본의 램프미터링 시스템(RMS)은 진입램프를 폐쇄하는 것과 영업소의 부스를 제한하는 방식으로 본선의 교통류를 제어하고 있는데 거의 대부분의 고속도로에서 사용하고 있음
 - 본선의 교통상태가 혼잡하게 되어 대기행렬이 길어지면 제어대상 진입로의 부스의 수를 감소시키는 방식임



[그림 2-7] Ramp Metering

출처 : Washington State Department of Transportation(www.wsdot.wa.gov)

12) Papageorgiou etc.(1991), "ALINEA: A LOCAL FEEDBACK CONTROL LAW FOR ON-RAMP METERING", Transportation Research Board, 1320, pp.58-64.

2. 특허분석

가. 특허 검색 및 분석 방법

☐ 분석개요

- 회전교차로 신호미터링 운영 알고리즘 개발에서 제시한 기술의 출원 공개 또는 등록된 특허에 대해 특허 검색/분석을 실시함
- 검색원은 특허정보넷 키프리스 (<http://www.kipris.or.kr>)를 이용함

나. 기술 관련 주요 특허

특허명	등록번호	출원인 (발명자)	내용	개발기술과의 연관성
비매설형 차량감지센서를 이용한 교통신호 제어시스템	1005642070000 (2006.03.20.)	진우산전(주) 정진태	비매설형 차량감지센서를 이용한 교통신호 제어시스템에 관한 것으로, 부도로로의 출입 교통량이 주도로 직진교통량에 비하여 매우 적은 T자형 또는 +자형 교차로에서, 주도로의 직진 차량을 제외한 모든 방향의 교차로 진입차량(부도로의 정지선에 진입하는 직진 또는 좌회전 대기차량, 주도로의 좌회전 차량)을 비접촉식 비매설형 차량감지센서를 이용하여 정지선 대기 차량을 자동으로 감지하고, 이를 통해 교통신호를 자동으로 제어할 수 있도록 함	비매설검지기를 이용한 신호제어 활용
태양발전을 이용한 무선 교통신호제어장치	1011157360000 (2012.02.06.)	송준석 (송준석)	태양광 발전된 전력을 이용하여 교통신호 제어기로부터 무선 전송되는 동기신호를 수신하여 교통신호등을 선택적으로 구동하는 태양발전을 이용한 무선교통신호제어장치가 제공됨	태양광전력을 이용한 제어기 활용

영상 및 레이더를 이용한 차량 속도 측정시스템	1012913010000 (2013.07.24.)	건아정보기술 주식회사 심광호 (심광호, 이종훈, 최광호, 이재열)	본 발명은 영상 및 레이더를 이용한 차량 속도 측정시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 레이더(radar)를 출사하여 감지구역 내를 주행하는 모든 차량의 속도를 측정하며, 동시에 카메라부를 통해 영상을 촬영하여 번호판 인식을 이용하여 속도를 측정한 후, 측정된 두 개의 평균 속도를 산출하여 과속 차량인지를 판단함으로써, 레이더 전파의 산란, 반사, 왜곡에 의한 속도 오류를 제거하여 정확한 속도 정보를 제공하는 영상 및 레이더를 이용한 차량 속도 측정시스템에 관한 것임	영상 및 레이더를 이용한 교통정보수집
점유 기반 레이더를 이용한 교통정보 수집 시스템 및 방법	1013167230000 (2013.10.02.)	(주)아이트래픽 시스템 (배경일, 류연하)	본 발명은 점유 기반 레이더를 이용한 교통정보 수집 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 상세하게는 레이더를 이용하여 차량의 진입 및 진출 상태를 파악하고 차량의 진입 이후 점유상태정보를 유지함으로써 차량의 정지 중에도 점유 상태 판단이 가능하도록 한 점유 기반 레이더를 이용한 교통정보 수집 시스템 및 방법에 관한 것	레이더를 이용한 교통정보 수집
접근로별 포화도를 고려한 회전교차로 운영 장치 및 그 방법	1016019580000 (2016.03.03)	공주대학교 산학협력단 (안우영)	본 발명은 회전교차로의 접근로별 포화도를 고려하여 진출입 차량의 통행을 제어하는 것에 의해 회전교차로의 차량 흐름이 원활해질 수 있도록 하는 접근로별 포화도를 고려한 회전교차로 운영장치 및 그 방법에 관한 것으로 각각의 접근로에 설치되는 대기행렬검지기를 통해 신호등을 제어하는 관리장치임	회전교차로 신호운영
회전 교차로용 교통 신호 표시기	1016568450000 (2016.09.06)	주식회사 부길전기 (김대환)	본 발명은 회전 교차로용 교통 신호 표시기에 관한 것으로 본 발명에 따른 회전 교차로용 교통 신호 표시기는, 회전 교차로 내로 진입하려는 차량의 운전자들에게 회전 교차로 주변의 교통 상황에 대한 정보를 전달함에 있어서, 복수의 색을 점등할 수 있는 복수의 엘이디 램프를 열십자(十) 형태로 결합하여 교통 정보를 보다 원활하게 전달할 수 있어, 회전 교차로 주변 또는 회전 교차로 내에서의 차량들의 충돌로 인한 사고의 위험성을 매우 낮출 수 있음	회전교차로용 교통신호 활용

3. 논문분석

□ 분석 개요

- 회전교차로 혼잡해소를 위한 감응식 회전교차로 신호미터링 운영 알고리즘 기술개발에서 제시한 기술의 국내외적 수준을 평가하기 위하여 논문 동향을 분석함
- 회전교차로의 혼잡해소를 위한 신호미터링 운영 시스템을 개발함에 있어 신호제어 시스템 H/W, 신호제어시스템 S/W 기술의 기술수준을 평가하기 위하여 논문 분석을 수행함

□ Akcelik, “Roundabouts with unbalanced flow patterns”¹³⁾, 2004

- 모의상황분석을 통해 진입교통량의 불균등에 따라 회전교차로에 용량이 감소되며 중앙섬 직경, 회전차로 폭 등이 용량에 큰 영향을 미친다는 결과를 제시하고, 실제 회전교차로에서 주도로의 진입교통류 비율이 높아 진입교통량이 적음에도 불구하고 누적 회전교통량이 많아져 부도로 진입의 어려움 발생하여 회전교차로의 소통이 원활하지 못하는 운영사례를 조사하여 Signal Metering 도입의 필요성을 제시함

□ Natalizio, “Roundabouts with Metering Signals”¹⁴⁾, 2005

- 기존 연구들의 회전교차로 Signal Metering 도입효과에 대한 객관적인 수치를 제시하지 않음을 지적하고 이를 보완하기 위해 SIDRA를 활용하여 도입 전·후를 비교하여 Signal Metering 도입의 필요성을 증명하고, 관리진입로의 진입교통량, 미터링 진입로의 포화도(degree of saturation), 검지기의 이격거리, 신호의 운영(blank or green) 및 정지(red)시간 길이 등을 포함하는 최적 운영방안을 도출함

□ 안우영, 이소영, “접근로별 포화도를 고려한 Roundabout Signal Metering 운영방법에 관한 연구”¹⁵⁾, 2013

- 단순히 교통량만 고려하기 보다는 회전교차로 내부에서의 회전교통량과 진입로에서의 진입교통량과의 관계를 포괄적으로 대변 할 수 있는 포화도(degree-of-saturation)를 사용하였고, 회전교차로 Signal Metering 운영에 따른 효과를 얻기 위해서는 우선적으로 미터링진입로와 관리진입로의 선정이 가장 중요함을 제시하였으며 SIDRA를 이용하여 미터링진입로의 진입교통량이 통제진입로의 진입교통량보다 작고 두 진입로의 포화도비(V/C비) 합이 1.0보다 작아야 개선효과가 있는 것을 제시함

13) Akcelik R.(2004), “Roundabouts with unbalanced flow patterns”, *ITE 2004 Annual Meeting*, Lake Buena Vista, Florida, USA, August 1-4.

14) Natalizio E.(2005), “Roundabouts with Metering Signals”, *Institute of Transportation Engineers 2005 Annual Meeting*, Melbourne, Australia, August.

15) 안우영·이소영(2013), “접근로별 포화도를 고려한 Roundabout Signal Metering 운영방법에 관한 연구”, 한국도로학회 논문집, 제15권 제5호

□ 이해선, “신호운영 회전교차로의 효율적 운영방안 연구” 16), 2013

- 2차로형 4지 회전교차로를 대상으로 회전교차로의 진입교통량이 균등한 상태에서의 신호를 운영하는 경우(A)와 신호교차로로 전환하는 경우(B)의 전환 전·후의 지체의 변화량을 통해 지체 감소 효과를 분석하였으며 그 결과 A, B모두 지체 감소효과가 있지만 신호교차로로 전환하는 경우(B)보다 신호를 운영하는 경우(A)의 지체 감소 영역이 넓어지고 감소하는 폭도 큰 것으로 분석되었으며, 회전교차로에 신호를 운영할 경우 회전교차로의 권장 범위를 125~450대/시/차로에서 최대 125~600대/시/차로까지 확대할 수 있다는 결과를 제시함

□ 박준, “회전교차로 신호미터링 적용방안 개발” 17), 2015

- 회전교차로 진입차로별 교통량, 검지기의 이격거리, 진입차로 통제시간 등에 대한 시나리오를 구축하여 VISSIM을 활용한 다양한 조건의 시뮬레이션을 통해 회전교차로 신호미터링의 도입 전·후 결과를 VISSIM에서 제공하는 VisVAP 모듈을 활용하여 분석하였으며, 분석결과 진입교통류의 좌회전 비율이 증가할수록 신호미터링을 통한 회전교차로의 지체 감소 효과는 증가하였으며 검지기 간격의 경우 40m일 때, 미터링 진입로의 적색시간 길이가 10초 혹은 20초 일 때, Controlling Approach의 교통량이 450~650대/시의 경우 신호미터링의 효과가 비교적 높은 것으로 분석함

□ 이솔, 안우영, “VISSIM을 활용한 회전교차로의 동적 신호미터링 운영방안 연구” 18), 2016

- 회전교차로의 운영효율성을 높이기 위한 동적 신호운영방안으로 실시간 제어상황과 연계하여 효과를 검증하기 위해 교통 분석용 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM의 COM Interface 기능을 활용하여 실시간 Signal Metering 운영방안을 제시하였으며, 1차로형 4지 회전교차로를 대상으로 2개의 운영대안 및 24개의 불균등 진입교통류 상태(unbalanced approach flow conditions)를 설정하여 실시간 Signal Metering 운영 알고리즘의 효과를 평가함

16) 이해선(2013), “신호운영 회전교차로의 효율적 운영방안 연구”, 가천대학교 석사학위 논문

17) 박준(2015), “회전교차로 신호미터링 적용방안 개발”, 서울시립대 석사학위 논문

18) 이솔·안우영(2016), “VISSIM을 활용한 회전교차로의 동적 신호미터링 운영방안 연구”, 한국ITS학회 논문지, 제15권 제2호, PP.74-84

4. 종합분석

□ 종합분석 결과

- 주요 선진국들은 회전교차로의 신호미터링을 위한 연구 및 설치가 많이 진행되어 있고 국가 실정에 맞는 회전교차로 신호미터링 운영을 위한 매뉴얼 및 설계지침이 있는 상황임
- 국내의 경우 회전교차로에 대한 안전 및 설계, 디자인에 대한 연구가 많이 진행되었고 신호 운영에 관한 연구가 있더라도 이는 일정한 교통량에 의한 고정식 신호 운영에 대한 비교평가만 이루어진 실정임
- 본 연구에서 개발하고자 하는 기술은 현재 외국의 특정 국가에서만 주도하고 있는 상황에서 현재 국내의 기술수준은 상당한 격차가 있음
- 우리나라에서 회전교차로 설치가 확대되고 있는 상황에서 회전교차로 신호미터링 시스템은 필수적으로 개발되어야 할 기술임
- 중앙정부차원에서 기술개발 및 표준 시스템을 구축하고 이를 각 지자체에 보급해 나가는 체계적 노력이 요구되는 시점임
- 이에 따라 대상지의 지역적 특성을 반영하여 회전교차로의 교통 혼잡저감 및 회전교차로 본래의 기능을 유지하기 위해 지자체 및 정부의 체계적 협력을 통해 과학기술에 기반으로 한 새로운 대안을 마련하고, 이를 다른 지자체에 확산시켜 나가는 접근방식이 유효할 것으로 판단됨
- 신호미터링 시스템의 기술 고도화를 통해 세계적인 기술 주도권 확보 및 국제 시장의 진입과 경쟁력 확보가 가능해 질 것임



세계적인 기술 주도권 & 국제시장의 진입과 경쟁력 확보

[그림 2-8] 종합분석 결과

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략

제1절 비전 및 목표

1. 연구 개발 목표

☐ 기본개념

- 토지이용의 변화 및 불균등 교통류 발생으로 인한 회전교차로의 불필요한 대기 시간을 절감하고 국내에 없는 회전교차로의 신호미터링(Signal Metering) 기술을 보급하여 회전교차로 운영효율 향상 및 통행문화 개선에 기여함

☐ 최종목표

- 정체, 이벤트 상황 등 다양한 교통상황에 탄력적으로 대응할 수 있는 신호미터링 운영 알고리즘 및 신호제어시스템 개발을 통해 회전교차로의 본래의 기능을 유지하여 효율적으로 운영함
- 회전교차로 설치가 확대되고 있는 시점에 넓은 지역 및 범위에 회전교차로 설치가 가능하도록 하여 국가 회전교차로 활성화 정책에 기여함
- 신호미터링 시스템 기술 고도화를 통해 국제 시장의 진입과 경쟁력 확보를 통해 회전교차로 분야의 선도적인 지위를 확보할 수 있는 밑바탕이 되고자 함

☐ 1단계 : 2017년

- 지역 교차로 네트워크의 교통지체 및 주행안전성을 고려한 회전교차로의 실시간 신호제어시스템(Dynamic Signal Metering System) 개발
- 착수와 동시에 테스트베드 조사 및 선정
 - 세부추진계획 수립, 사례조사, 요구사항분석, 대상지선정
- 회전교차로의 교통수요 검지, 진입신호 제어 등 신호제어 소프트웨어 개발

☐ 2단계 : 2018년

- 회전교차로 신호미터링 시스템 시범운영을 통한 시스템 안정화 및 효과평가
- 회전교차로 신호미터링 시스템 설치 및 운영 매뉴얼 개발
- 회전교차로 신호미터링 시스템 보급 및 지킴화



[그림 3-1] 연구개발 목표 및 전략

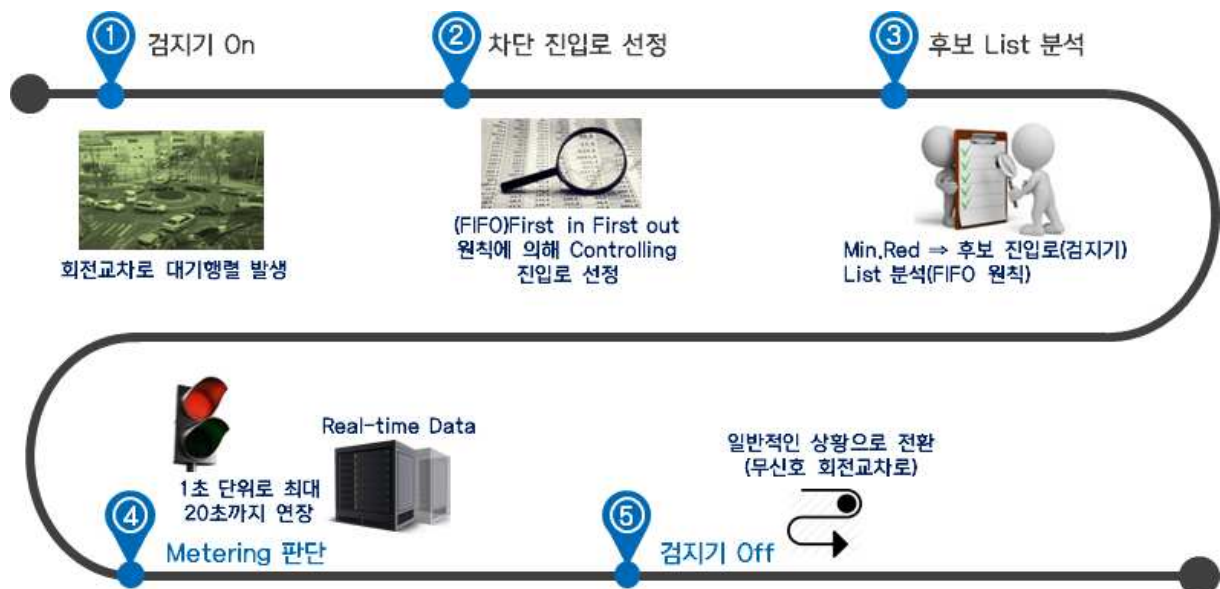
2. 개발 세부 내용

가. ‘회전교차로 실시간 신호미터링 알고리즘’ 기술개발

1) 회전교차로 제어전략 및 알고리즘 개발 수립

□ 실시간 신호미터링 운영 알고리즘

- 회전교차로의 모든 진입로에 설치된 검지기 집합과 후보검지기 집합으로 구분함
- 검지기 점유계 따라 검지기On, 검지기Off로 구분함
- 검지기 점유여부에 따라 실시간으로 통제진입로가 선정되고 미터링진입로는 실시간 신호미터링(Signal Metering)에 따라 선정됨
- 최소 미터링시간 이후 후보검지기의 여부에 따라 최대 미터링시간까지 1초 단위로 연장함
 - 최소 미터링시간을 10초 또는 15초 그리고 최대 미터링시간 20초를 적용
- 최소 미터링시간 이후부터 후보검지기의 여부에 따라 다음 미터링을 위한 통제 진입로 선정이 필요함
- 이때 후보검지기는 진입로별 검지기의 점유순서를 고려한 FIFO(first-in-first-out) 원칙에 따라서 후보검지기에서 선정
- 만약 후보 검지기 집합이 빈 상태이면 다시 무신호 회전교차로 상태로 전환



[그림 3-2] 신호미터링 운영 알고리즘 흐름도

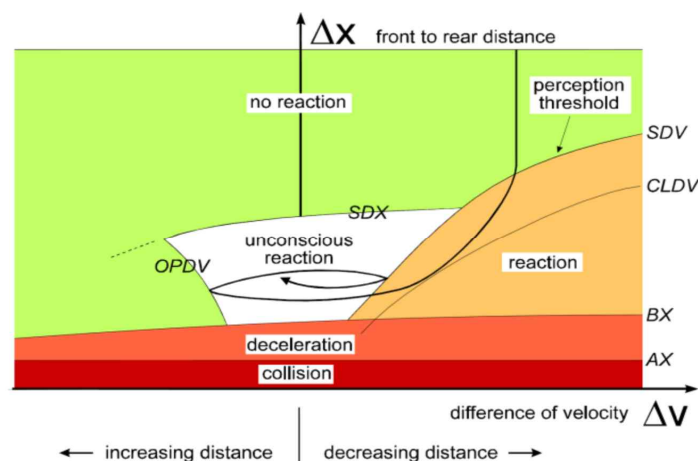
2) 효과검증을 위한 Simulation 환경 구축

□ VISSIM(Traffic Simulation)

- VISSIM은 Micro적인 분석도구로 모든 도로 이용자의 행태 및 이용자 간의 상호 작용에 대하여 분석이 가능함
- 승용차, 화물차, 철도 및 도로와 연관된 모든 대중교통 수단, 보행자, 자전거 이용자를 동시에 고려하여 현실과 유사한 네트워크 모델링을 제공함
- 단순한 교차로에서부터 신호교차로, 회전교차로 등의 통행수단별 통행우선권 및 신호제어분석이 가능함
- 2D 및 3D의 시각전환을 통하여 운영자의 이해를 도모하며, 이용자 편의를 고려한 UI(User Interface)를 설계하여 사용이 편리하도록 하여 네트워크 객체 생성 및 편집이 효율적임
- 분석지역 및 분석항목을 직접 설정함으로써 해당 분석지역의 교통량, 지체시간, 구간의 통행속도와 통행시간, 서비스 수준 등과 같은 다양한 분석 지표 추출이 가능함

□ VISSIM 모형

- VISSIM은 미시적인 시뮬레이션 분석 프로그램으로 신호제어 및 회전교차로를 포함한 다양한 형태의 교통류를 고려하여 분석이 가능하고 현실과 유사한 네트워크 모델링 구현이 가능함
- 차량추종모형을 이용한 교통 분석 알고리즘을 사용하고 자율주행, 접근, 추종, 감속으로 총 4단계의 운행상태로 분류함
- Car Following Logic(Wiedemann,1974)이론에 따르면 선두차량은 지정 자유속도에 도달할 때 까지 지정된 가속도로 가속하며 후속차는 앞차와의 안전거리를 확보하며 자유주행속도까지 가속함

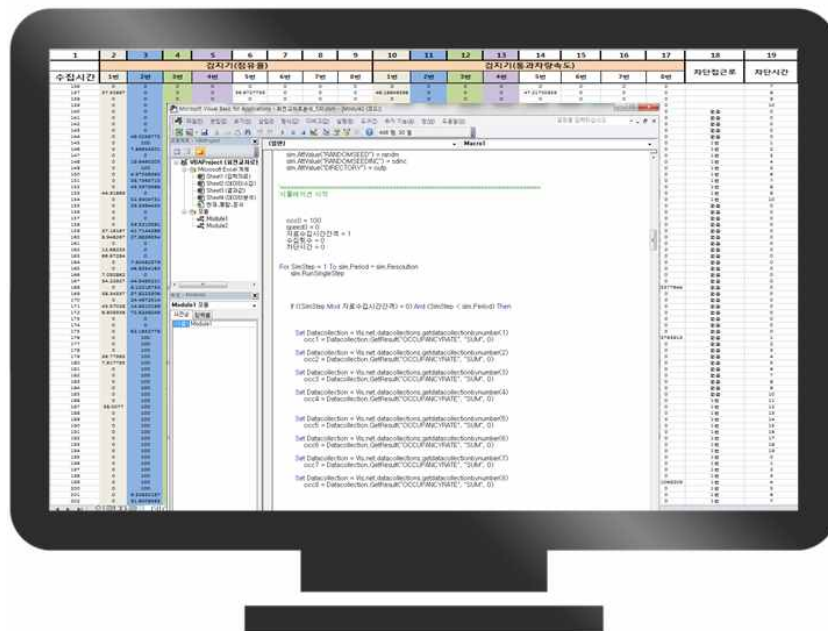


[그림 3-3] Car Following Logic 이론

※ 출처 : PTV(2011), VISSIM 5.3-05 User Manual

□ COM Interface

- 여러 가지 장점을 가진 VISSIM에서 제공하는 COM Interface는 VBA(Visual Basic Application) 환경에서 코딩(coding)이 가능함
- C나 Java와 같은 다른 프로그래밍 언어에 비해 쉽게 이해할 수 있고 NET Framework이라는 가상 실행 시스템상에서 작동함
- VISSIM의 COM Interface 기능을 활용할 경우 무신호 회전교차로 및 본 연구에서 개발가능한 감응식 신호미터링(Dynamic Signal Metering) 운영알고리즘을 서브루틴(subroutine)으로 연결하여 분석이 가능함

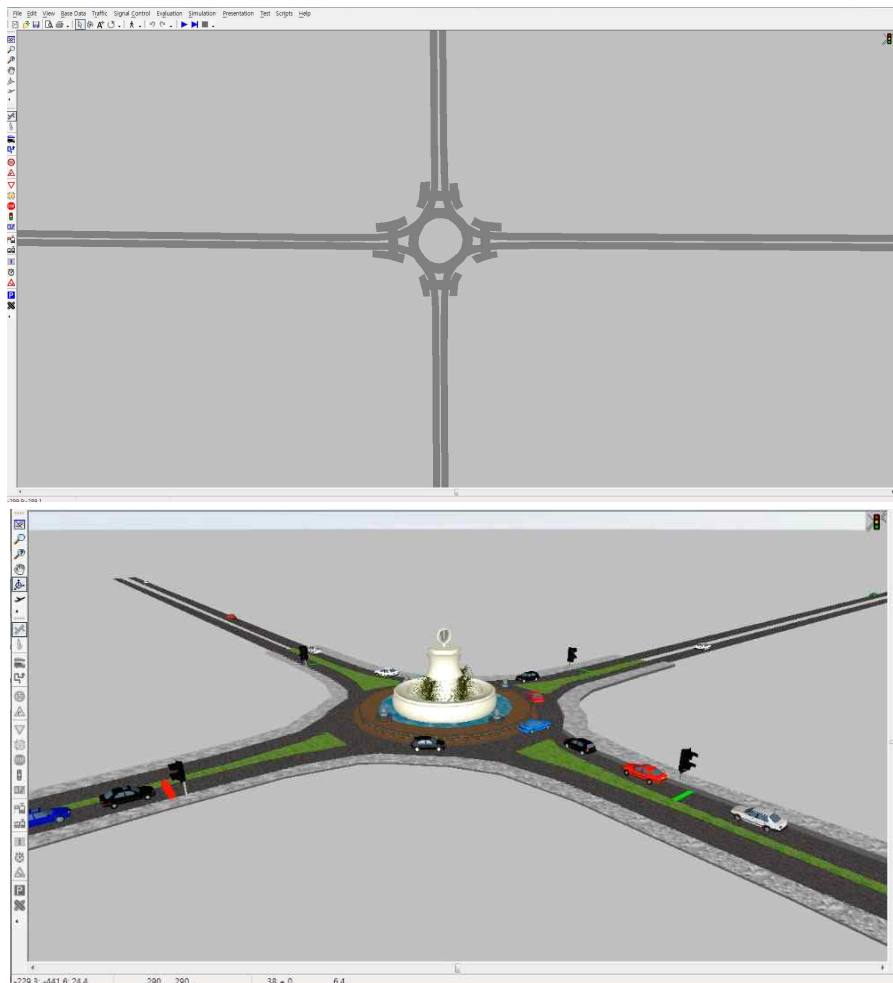


[그림 3-4] 신호미터링 운영 알고리즘 구현

□ Simulation 네트워크 구축

- 시뮬레이션 구축 시 지도를 이용하여 Basemap 구축, 정확한 네트워크를 구축함
- 실제 도로와 같은 환경을 만들기 위해 차선 수, 차선폭, 제한속도, 도로의 고저(高低), 교통량 등을 입력 후 현장조사 Data를 이용한 검증을 실시함
- 엑셀을 이용하여 각 교차로별 승용차, 버스, 트럭의 비율에 대하여 오전첨두, 비첨두, 오후첨두를 구분하여 차종비(Vehicle Ratio)를 구분함
- 분석된 차종비(Vehicle Ratio)를 VISSIM 내 입력하여 다음 단계인 Vehicle Input 입력 시 진입교통량 비율입력 시 활용함
- Vehicle Input 기능을 이용하여 네트워크 내에 통행할 차량을 제공하며, 교통량 투입 지점을 기준으로 교차로 접근링크가 아닌 전체적인 네트워크의 끝단에 Input을 입력하여 자연스러운 교통량 분산을 통한 차량통행이 이루어지도록 함

- 교통량 자료로는 교차로의 각 진입부의 방향별 교통량으로 조사된 교통량을 이용하여 진입부의 교통량을 입력함
- 교차로 진입교통량에 대하여 방향별교통량(좌회전, 직진, 우회전)의 입력을 위하여 Vehicle Route를 입력함
 - 각 진행 방향별 시·종점을 입력한 뒤 해당 경로의 교통량을 입력하여 방향별 교통량 입력을 실시함
- 차량 회전 시(좌회전, 우회전) 감속을 진행한 뒤 다시 가속을 하는 운전자의 특성을 반영하기 위해 회전구간에 대하여 Reduce Speed Area를 입력함
 - 좌회전(20km/h) 및 우회전(15km/h)의 진행속도를 일률적으로 적용하고, 감속구간 또한 5m로 통일하여 네트워크 내 전 교차로 지점에 대하여 통일성을 부여함
 - 감속구간은 전 차종(승용차, 버스, 트럭)이 일괄적인 감속도($2m/s^2$)로 회전구간을 통과할 수 있도록 설정함
- 시뮬레이션을 위한 네트워크 구축화면은 다음과 같음



[그림 3-5] 네트워크 구축

3) Simulation을 활용한 신호미터링 운영 알고리즘 효과검증

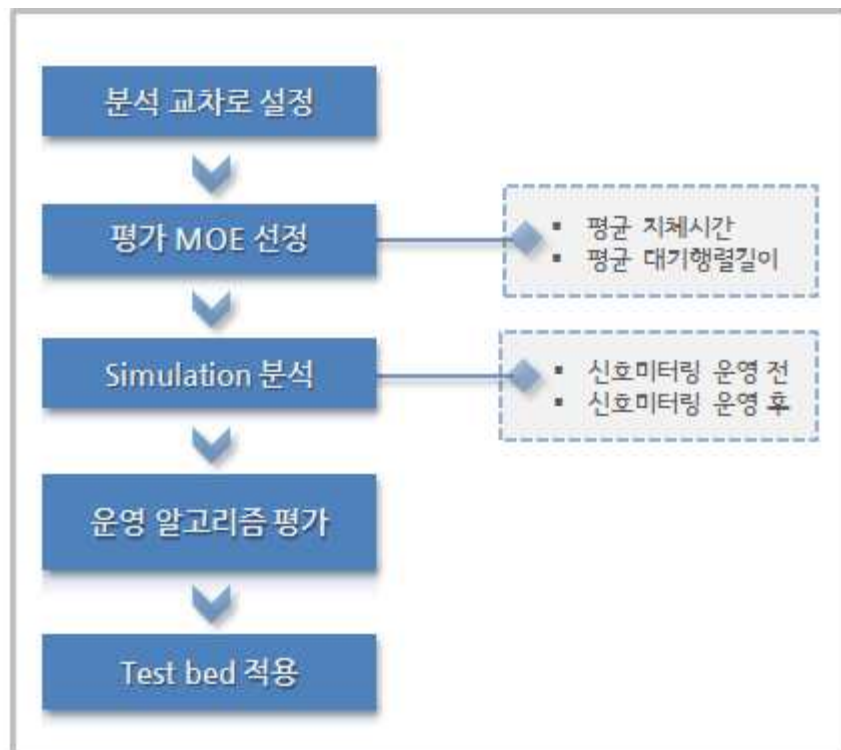
□ 효과평가 개요

- 신호미터링 운영 알고리즘에 대한 효과검증을 위해 도입 전·후를 비교 및 분석

□ 효과척도(MOE)의 선정 : 제어지체시간(Delay Time)

- 국내 도로용량편람에서 신호교차로와 회전교차로에 대한 운영효율분석 모형을 제시하고 있음
- 차량 당 평균제어지체란 분석기간에 도착한 차량들의 접근부 감속지체 및 정지지체, 출발시의 가속지체를 모두 합한 ‘접근지체’를 말하며, 분석기간 시작 전에 남아있는 대기행렬에 의한 ‘초기 추가지체’를 포함함
- 회전교차로의 운영효과를 평가하기 위해서는 신호교차로의 효과척도와 동일한 지체시간을 적용함
 - 선정 방식은 신호교차로에 적용한 방식과 같이 회전교차로의 접근로에 따른 평균지체를 산정한 후 교통량 가중평균을 이용하여 회전교차로 평균지체를 산출하여 효과척도로 사용함

□ 효과평가 수행절차



[그림 3-6] 효과평가 수행절차

나. ‘회전교차로 신호제어 소프트웨어’ 기술개발

1) 교통수요 검지체계 개발

□ 개발 개요

- 주요 교통수요 유발 진입부에 설치되는 비매설형 기반의 검지기로, 회전교차로를 진입하는 차량의 정보를 수집하여, 통과 교통량 및 교통밀도를 측정하며, 진입부의 차량지체 및 대기길이를 측정하는 검지체계 개발이 필요함

□ 개발 세부 내용

- 비매설 검지기(영상, 레이더, 초음파 등)에 대한 비교, 평가를 통해서 적절한 검지기 선정
- 회전교차로 정체도 판정기준 MOE 선정 및 교통정보 처리 알고리즘 개발
- 진입 및 진출 차량의 정보를 동시에 검출하여 회전교차로 유입/유출 교통정보 생성
- 신호제어시스템 인터페이스 기술 개발
- 회전교차로 적용형 소형/저전력/저가격의 비매설 검지기 개발
- 테스트베드 적용 기능 검증

□ 개발 목표

- 비매설형 검지기로 회전교차로 진입로별 혼잡을 검지하는 검지체계 개발

2) 회전교차로 진입신호 제어시스템 개발

□ 개발 개요

- 회전교차로 진입신호 제어시스템은 “비매설형 검지기”와 일체형으로 구성하며, 회전교차로에 진입 및 진출하는 차량의 정보를 검지기로부터 전달받아 다른 진입부에 설치된 “진입통제 신호등”을 이용하여 차량의 진입을 통제하는 제어기능을 수행함
- 또한 교통신호기 표준통신프로토콜을 이용하여 교통관제센터와 연동하여야 하며, 모든 제어정보 및 동작 상태를 센터 운영자가 관리할 수 있도록 하여야 함

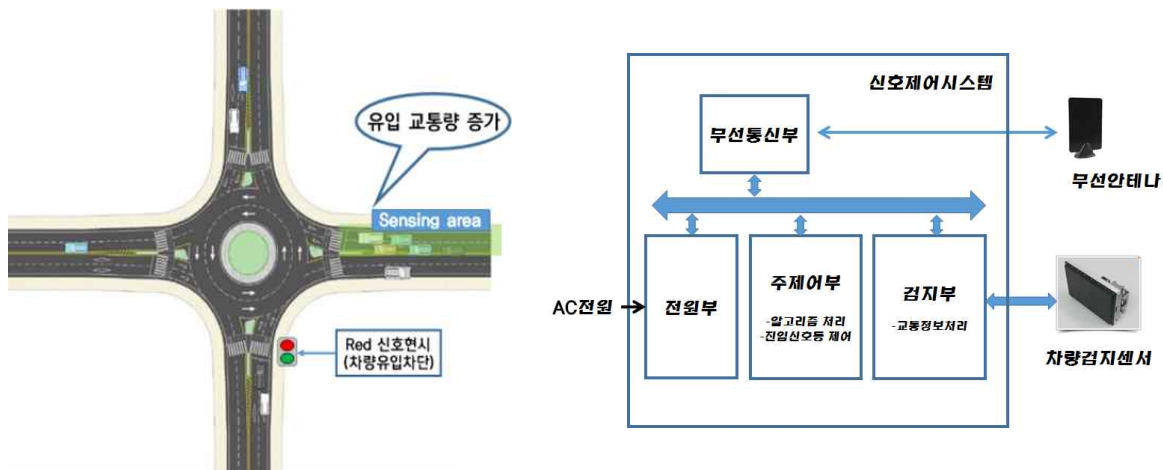
□ 개발 세부 내용

- 제어전략 및 알고리즘 탑재 가능한 신호제어시스템 설계, 개발
- 검지체계로부터 교통정보를 수집하고 교통지체를 최소화하는 기능 개발
- 진입통제 신호등을 무선으로 연결하여 차량진입 제어기능 개발
- 유효한 무선통신 방식을 선정하여 무선통신체계를 설계, 개발
- 무선통신 해킹방지를 위한 적절한 암호화 알고리즘 선정, 개발

- 검지체계와 일체형 가능하도록 구조 설계 및 교통신호기 표준통신프로토콜(경찰청 규격)을 이용하여 교통관제센터와 연동제어
- 테스트베드 적용 기능 검증

□ 개발 목표

- 회전교차로 교통정체를 해결하고 소통을 최적화하는 진입신호 제어시스템 개발



[그림 3-7] 신호제어시스템 구성도

3) 회전교차로 진입통제 신호등 개발

□ 개발 개요

- 회전교차로의 진입부에 설치되어 차량의 진입을 제어하는 신호등의 개발이 필요함
 - 회전교차로 신호등체계는 관련기관(경찰청, 도로교통공단)의 승인을 득한 방식으로 개발되어짐
- 선로공사를 회피하기 위하여 저전력 시스템으로 설계하고 셀프전원시스템을 갖추어야 하며, 진입신호 제어시스템에서 무선을 통한 제어명령을 수신할 수 있는 구조로 개발함

□ 개발 세부 내용

- 진입통제 신호등 개발
- 설치공사를 최소화 하기 위해서 저전력 설계 시스템 개발
- 셀프 파워 시스템(Solar Power system) 개발, 저전력 고효율을 유지하기 위해서 DC/DC 방식으로 설계되어야 함
- 1일 신호등 운영시간은 최소 4시간 이상

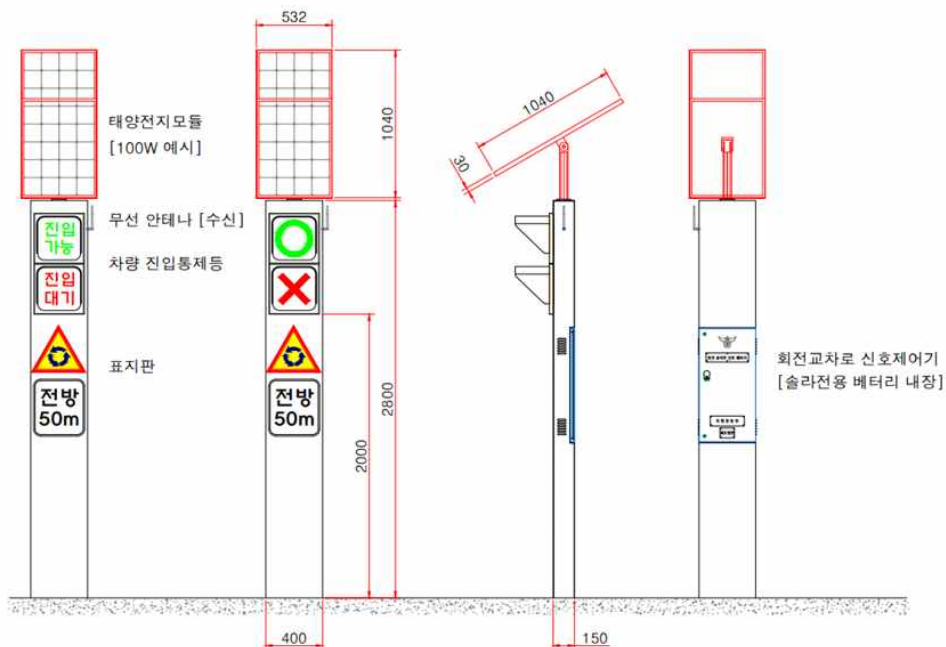
- 무선 신호제어수신을 위한 무선통신체계 개발
- 무선 제어신호의 해킹 방지를 위한 암호화 기술 개발



[그림 3-8] 진입제어 신호등 해외 설치 사례(잉글랜드, Huddersfield)

□ 개발 목표

- 셀프파워 시스템의 무선통신 기능을 가진 회전교차로 진입통제 신호등 개발



[그림 3-9] 셀프파워 시스템 신호 구성

다. ‘회전교차로 신호미터링 관리 및 운영’ 기술개발

1) 테스트베드 구축 기술개발

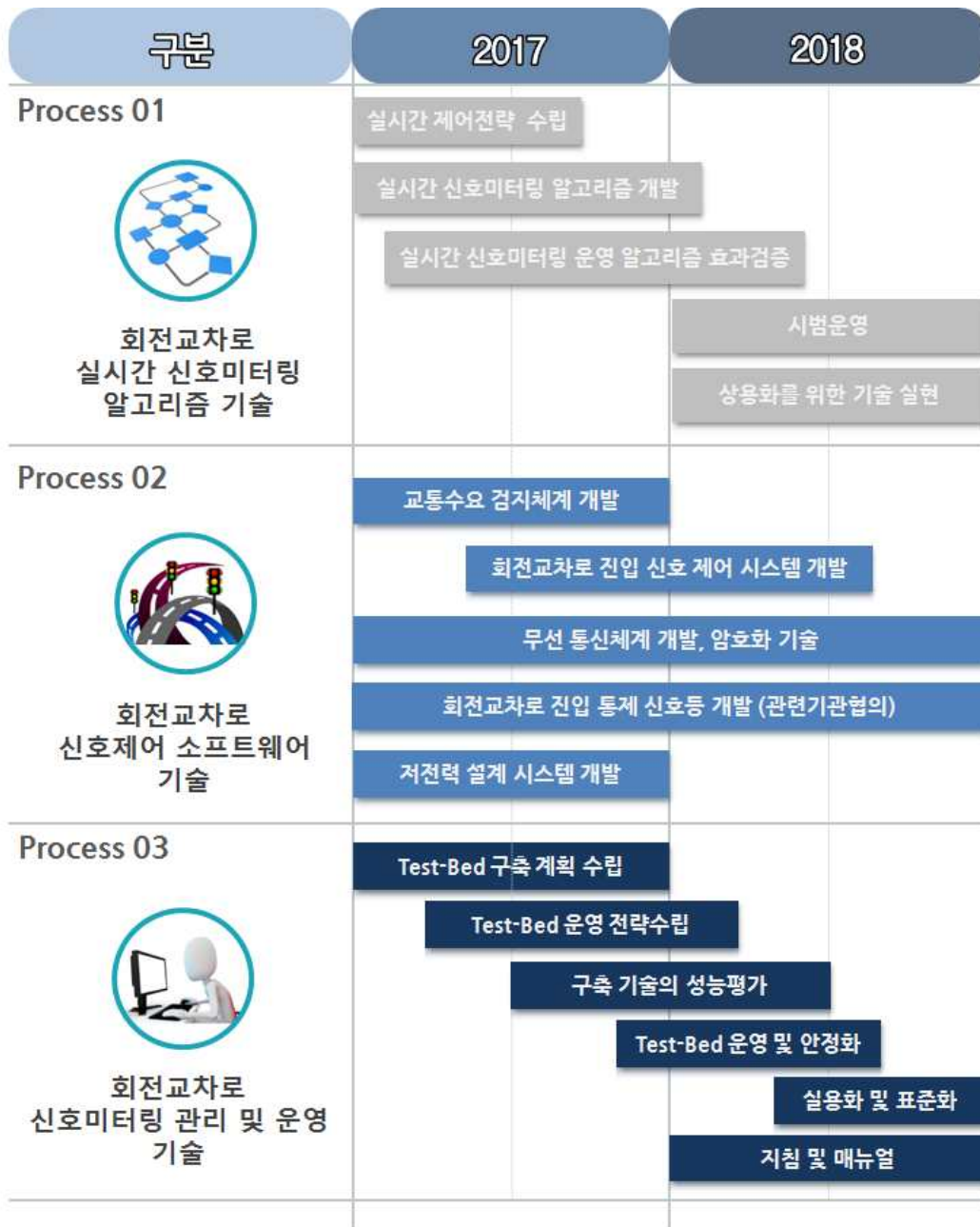
- 회전교차로 설치 이후 주변 토지이용변화 등의 요인으로 교통량이 증가해 늘어난 통행시간 및 지체로 인한 불편을 겪고 있는 대상지에 신호미터링 시스템을 설치하여 성능을 평가하고자 함
- 테스트베드 구축 세부추진 계획 수립 : 기술개발 일정을 고려한 테스트베드 구축 일정 및 개발 기술의 평가 일정 및 평가방법론 수립
- 테스트베드 구축 사례조사 : 인터넷 및 문헌조사를 통해 테스트베드 구축 사례조사 및 해외 현장방문을 통한 사례조사
- 테스트베드 공간적/기능적 요구사항분석 : 테스트베드 구축을 위한 요구기술 파악, 성능테스트를 위한 공간적/기능적 요구사항 파악
- 테스트베드 구축 지역 선정 : 요구사항 분석을 토대로 적합한 대상지 검토 및 선정, 해당지자체와의 협의
- 테스트베드 설계 : 개발 기술 테스트를 위한 적정 layout 구상, 테스트베드 구축 및 운영 기본계획 수립
- 테스트베드 운영방안 수립 : 테스트베드 세부 운영계획, 운영전략 수립
- 개발기술의 성능평가 방법 결정 : 성능평가 기준 설정 및 방법 결정
- 테스트베드 구축 : 테스트베드 구축공사 실시
- 테스트베드 운영 및 안정화 : 테스트베드 시범운영, 구축기술의 성능평가, 운영상의 문제점 분석, 테스트베드 안정화, 신호미터링 효과평가

2) 설치 및 운영 매뉴얼 개발

- 회전교차로 신호미터링 설치 및 운영 매뉴얼은 회전교차로에 신호미터링 설치 및 운영을 위해 적절한 교차로를 선정하고 해당 교차로 조건에 최적의 신호미터링을 설계 설치하기 위한 제반 지식을 제공하기 위한 매뉴얼임
- 매뉴얼 사례조사 : 관련 지침 및 매뉴얼 조사 및 검토
- 매뉴얼 요구사항분석 : 신호미터링 설계를 위한 요구사항 조사, 신호미터링 설치를 위한 요구사항 조사, 신호미터링 운영을 위한 요구사항 조사
- 매뉴얼 작성 : 요구사항분석을 토대로 매뉴얼 작성 및 전문가 및 실무진 자문을 통한 매뉴얼 보완

3. 과제 개발 로드맵

□ 과제 기술개발 로드맵은 다음과 같음



[그림 3-10] 기술개발로드맵

제2절 추진전략체계

□ 1단계

- 지역 교차로네트워크의 교통지체 및 주행안전성을 고려한 회전교차로의 실시간 신호제어시스템(Dynamic Signal Metering System) 개발
- 각 기술별 핵심요소기술 개발
- 단계별 세부 추진계획 수립

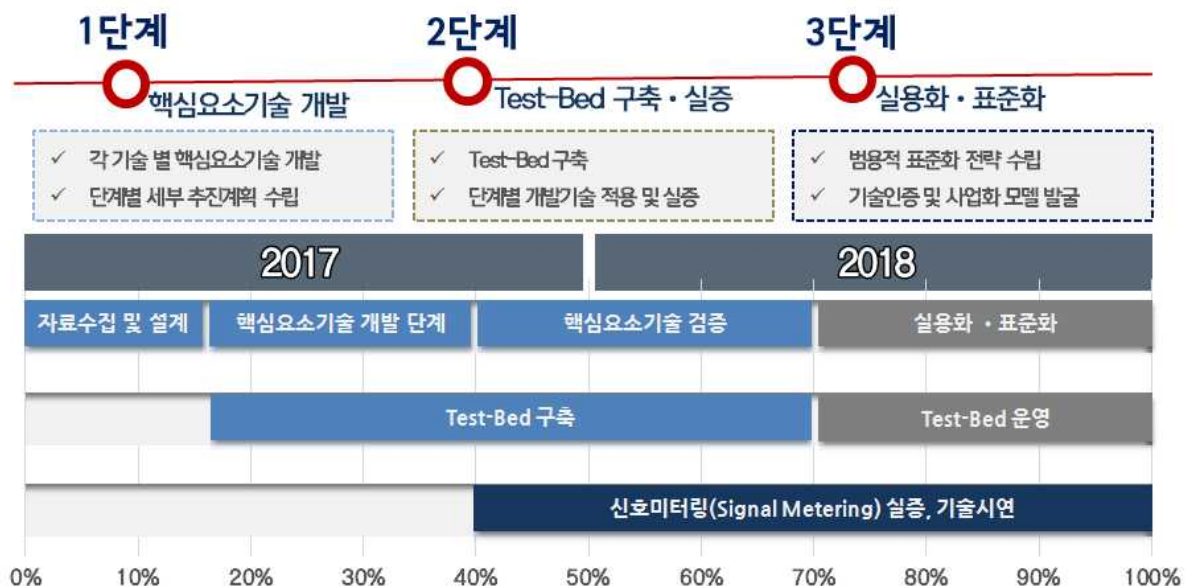
□ 2단계

- 착수와 동시에 테스트베드 조사 및 선정
 - 세부추진계획 수립, 사례조사, 요구사항분석, 대상지선정
- 회전교차로의 교통수요 감지, 진입신호 제어 등 신호제어 소프트웨어 개발
- 단계별 개발기술 적용 및 실증
- 실용화 전략기술 선정 및 고도화

□ 3단계

- 회전교차로 신호미터링 시스템 시범운행을 통한 시스템 안정화 및 효과평가
- 회전교차로 신호미터링 시스템 설치 및 운영 매뉴얼 개발
- 기술인증 및 사업화 모델 발굴 (거점 내 수요처)

□ 감응식 회전교차로 신호미터링 운영 알고리즘 기술개발 추진전략체계는 다음과 같음



[그림 3-11] 추진전략체계

제3절 자원투입계획

1. 소요예산 산정

- 해당과제 참여연구원의 인건비 기준단계 산정을 목적으로 작성하는 것으로 월 기준 단가는 2016년도 회계예규 “예정가격작성기준” 학술연구용역 인건비 기준단가를 참고하여 작성하였음

가. 기술별 연구비

(단위 : 억 원)

구 분	연차별 예산		
	1차년	2차년	합계
회전교차로 실시간 신호미터링 알고리즘 기술개발	1.5	1.5	3.0
회전교차로 신호제어 소프트웨어 기술개발	1.5	1.5	3.0
회전교차로 신호미터링 관리 및 운영 기술개발	2.0	2.0	4.0
합 계	5.0	5.0	10.0

나. 연구비 세부내역

(단위 : 백만 원)

구분	예산항목	1차년	2차년	합계	비율(%)
회전교차로 실시간 신호미터링 알고리즘 기술개발	직접비	128	128	256	25.6
	간접비	22	22	44	4.4
	소계	150	150	300	30.0
회전교차로 신호제어 소프트웨어 기술개발	직접비	128	128	256	25.6
	간접비	22	22	44	4.4
	소계	150	150	300	30.0
회전교차로 신호미터링 관리 및 운영 기술개발	직접비	171	171	342	34.2
	간접비	29	29	58	5.8
	소계	200	200	400	40.0
합계		500	500	1,000	100.0

2. 연차별 인력투입 계획

□ 연차별 인력투입계획(안)은 다음과 같음

과제명		세부항목	1차년도	2차년도	합계
감응식 회전교차로 신호미터링 운영 알고리즘 기술개발	회전교차로 실시간 신호미터링 알고리즘 기술개발	책임연구원	2	2	4
		연구원	2	2	4
		연구보조	6	6	12
		계	10	10	20
	회전교차로 신호제어 소프트웨어 기술개발	책임연구원	1	1	2
		연구원	3	4	7
		연구보조	2	3	5
		계	6	8	14
	회전교차로 신호미터링 관리 및 운영 기술개발	책임연구원	1	1	2
		연구원	2	3	5
		연구보조	1	2	3
		계	4	6	10
계			20	24	44

제4장 실용화 전략

제1절 현황 분석

1. 기술수준

☐ 기술동향 분석 결과

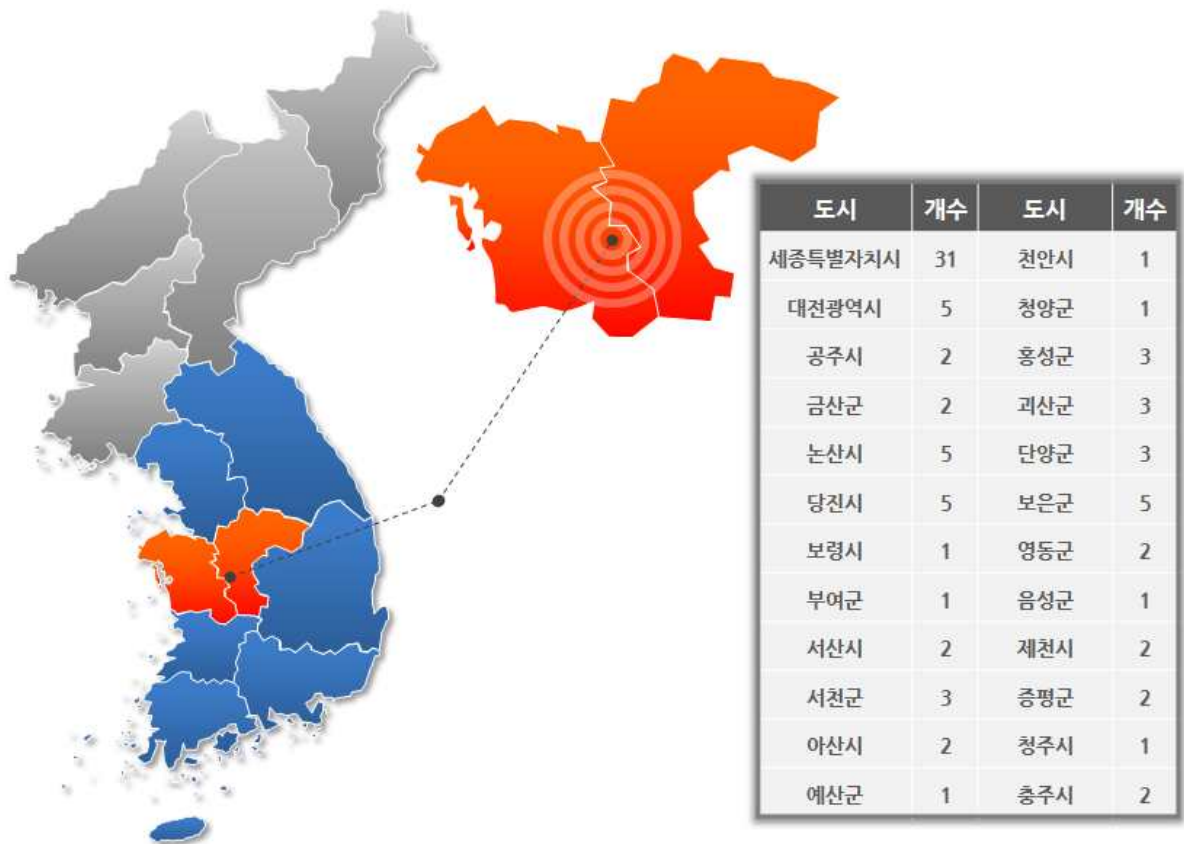
- 동 사업에서 개발하고자 하는 기술은 현재 외국의 특정 국가에서만 주도하는 세계 최고 기술 수준과 현재 국내의 기술 수준은 상당한 격차가 있음
- 우리나라는 국민안전처의 회전교차로 활성화 사업 10개년 계획, 국토교통부의 일반국도 회전교차로 확대설치 사업, 지자체 회전교차로 설치 사업 등 지속적으로 회전교차로가 확대되고 있으나 신호미터링을 운영하고 있는 회전교차로는 없는 상태임
- 도로운영시스템 분야의 회전교차로 기술을 혁신하는 기술 대안으로 신호미터링 방법을 개발함으로써 교차로 세계 최고 수준의 도로운영 기술력 확보가 가능할 것임

2. 지역의 현안

- ☐ 회전교차로 활성화 사업을 통해 2016년까지 충청권에 설치된 회전교차로는 총 58개소이며, 이 외에 행정중심복합도시건설청에서 설치한 회전교차로는 28개소로 충청권에 총 86개소의 회전교차로가 운영 중에 있으며 지속적으로 확대 설치할 계획임
- ☐ 회전교차로의 운영측면과 안전측면의 효과가 입증되면서 공주시, 서산시, 청주시, 충주시 등 국가예산이 아닌 자체예산으로 회전교차로를 설치하는 지자체가 증가하고 있는 추세임
- ☐ 그러나 현재 일부지역에서는 회전교차로 설치 당시 보다 교통량 증가로 인해 침두시 및 특정 이벤트 발생 시 진입로 별 교통류가 불균등해져 교차로 지체가 증가하는 문제점이 발생하여 교차로 운영효율이 떨어지는 상황이 발생함

제2절 거점 내 수요처 분석

- 현재 충청권에 설치된 회전교차로 86개소 중 천안시 교통혼잡이 발생하는 지역
- 세종특별자치시, 대전광역시, 아산시, 천안시, 청주시 등 도시 중심에 설치된 회전교차로 등을 대상으로 함



[그림 4-1] 거점 내 회전교차로 설치현황

제3절 시장 진출 전략

□ 상품화 연구개발

- 개발목표 수준을 명확히 하여 개발완료 후 상품화 단계를 거쳐 판매가 가능한 수준의 연구결과를 도출함
 - 테스트베드 기간 동안 실증이 가능하도록 충분한 실험을 통해 검증을 받을 수 있는 수준으로 신호미터링 시스템 개발
 - 개발기술의 획득으로 국내 시장에 적용할 기술의 선점에 초점을 맞추어 대내외의 지적재산권 등록에 대한 역량 강화

□ 판매전략

- 교차로의 안전과 운영효율을 동시에 확보하기 위하여 회전교차로 설치가 확대되고 있는 상황에서 첨두시간대 교통량 증가 및 특정 이벤트에 따른 정체 발생으로 인해 회전교차로 운영효율성 측면의 효과가 감소되는 문제와 맞물려 새로운 교차로 운영시스템에 대한 요구가 증가할 것으로 예상됨
- 국내의 경우 회전교차로 신호미터링에 대한 연구는 지속적으로 수행되고 있지만 실제 교차로에 적용된 사례가 없는 상태이므로 테스트베드를 통해 본 연구에서 개발한 상품의 효과가 입증될 경우 새로운 수요가 창출될 것으로 기대되며 판매 가능성 또한 매우 높을 것임

□ 실용화 전략

- 회전교차로 신호미터링 시스템에 대한 적용 용이성을 확보하여 개발모델을 상품화하는 전략추진이 필요함
- 기술, 가격, 신뢰성을 확보할 수 있는 제조사의 개발 참여를 유도하며, 또한 조기에 경쟁력 있는 제품과 기술을 확보하도록 개발기관의 컨소시엄을 구성하여 사업을 수행함
 - 산학연의 공동 연구개발 체계를 구축하고 설계 및 구축, 평가가 이루어 질 수 있는 추진체계를 마련하여 개발완료 후 즉시 상용화가 가능하도록 시스템을 개발함
- 연구개발과 회전교차로에서 지체를 감소시키고 대기오염을 줄일 수 있는 회전교차로 신호미터링 시스템의 경우 정부정책에 부합하는 기술로 국가차원의 법 제도적인 지원체계 마련이 필요함. 따라서 회전교차로 신호미터링 시스템이 실용화가 될 수 있도록 법과 제도가 마련되어야 함
- 실증 시험을 통해 검증하고, 그 결과를 신기술 인증서를 획득하여 언론매체 등 홍보를 통해 실용화를 가속화할 수 있음



[그림 4-2] 실용화 전략수립

제4절 기대효과

- 현재 정부에서는 2020년까지 국가온실가스 감축을 배출전망치 대비 최대 30%를 절감하는 것을 목표로 제시함
- 국가 온실가스 배출의 17%를 차지하고 있는 교통부문에서는 온실가스를 2020년까지 배출전망치 대비 33~37%를 감축해야함
- 신호 미터링 시스템 개발을 통하여 회전교차로에서 지체에 의한 온실가스 배출 저감에 기여할 수 있음
- 또한 2012년 기준 전국교통혼잡비용이 33조 4천억원으로 2010년 이후 지속적으로 증가하고 있고 이 중 도시부도로가 약 21조3천억원으로 63.8%를 차지하고 있음
 - 회전교차로 신호미터링 시스템 개발을 통해 도시부도로의 교통혼잡비용을 감소시킬 수 있음
- 우리나라에서 회전교차로 설치가 확대되고 있는 상황에서 회전교차로 신호미터링 시스템은 필수적으로 개발되어야할 기술임
- 기술이 개발되면 더 많은 지역, 더 넓은 범위(침투시 교통량 기준)에 회전교차로 설치가 가능하므로 회전교차로 활성화 정책에 기여할 것으로 기대됨
- 신호미터링 시스템 기술 고도화를 통해 세계적인 기술 주도권 확보 및 국제 시장의 진입과 경쟁력 확보가 가능해질 것이며 회전교차로 분야의 전도적인 지위를 확보할 수 있는 밑바탕이 될 것으로 기대됨

제5장 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정

제1절 연구단 과제 제안요구서(RFP)

과제명	감응식 회전교차로 신호미터링 운영 알고리즘 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 토지이용의 변화 및 불균등 교통류 발생으로 인한 회전교차로의 불필요한 대기시간을 절감하고 국내에 없는 회전교차로의 신호미터링(Signal Metering) 기술을 보급하여 회전교차로 운영 효율 향상 및 통행문화 개선에 기여 ○ 정체, 이벤트 상황 등 다양한 교통상황에 탄력적으로 대응할 수 있는 신호미터링 운영 알고리즘 및 신호제어시스템 개발을 통해 회전교차로의 본래의 기능을 유지하여 효율적으로 운영함
2. 기술개발 및 산업/시장동향	☐ 기술개발의 필요성 ○ 본 연구에서 개발하고자 하는 기술은 현재 외국의 특정 국가에서만 주도하는 세계 최고 기술 수준과 현재 국내의 기술 수준은 상당한 격차가 있음 ○ 우리나라는 국민안전처의 회전교차로 활성화 사업 10개년 계획, 국토교통부의 일반국도 회전교차로 확대설치 사업, 지자체 회전교차로 설치 사업 등 지속적으로 회전교차로가 확대되고 있는 실정임 ○ 하지만 침두시 또는 이벤트 상황에 회전교차로의 역효과로 인한 이용자들이 불편을 겪고 있으나 신호미터링을 운영하고 있는 회전교차로는 없는 상태임 ○ 도로운영시스템 분야의 회전교차로 기술을 혁신하는 기술 대안으로 신호미터링 방법을 개발함으로써 교차로 세계 최고 수준의 도로운영 기술력 확보가 가능할 것임 ☐ 기술동향 ○ 주요 선진국들은 회전교차로의 신호미터링을 위한 연구 및 설치가 많이 진행되어있고 국가 실정에 맞는 회전교차로 신호미터링 운영을 위한 매뉴얼 및 설계지침이 있는 상황임 ○ 국내의 경우 회전교차로에 대한 안전 및 설계, 디자인에 대한

	연구가 많이 진행되었고 신호 운영에 관한 연구가 있더라도 이는 일정한 교통량에 의한 고정식 신호운영에 대한 비교평가만 이루어진 실정임 ○ 국외의 경우, 회전교차로의 수는 점차 증가하고 있으며, 호주 및 뉴질랜드는 일부 회전교차로에 신호미터링 시스템을 도입하여 운영 중에 있음 ○ 본 연구에서 진행하고자 하는 각 기술의 동향은 다음과 같음 - 실시간 신호제어시스템은 COSMOS라는 프로젝트로 운영 중에 있으며, 루프검지기를 이용하여 교통류 상태를 파악하고 있음 - 교통체계지능화(ITS) 사업을 통해 국가통합교통정보센터에서는 차량정보를(교통량, 통행속도 등) 수집하고 이를 통해 도로이용자들에게 정보를 제공중에 있음 - 국내 Metering 기술은 도시고속도로 진입부에 설치된 신호기에 의해 진입교통량을 통제중에 있으며, 고정식 신호제어 시스템으로 운영 중에 있음 - 국외 램프미터링의 경우에는 연속류 교통량에 따라 가변하며 대기행렬을 최소화하는 신호전략을 개발하였으며 이를 통해 램프미터링과 신호교차로 간의 통합 신호제어 시스템을 개발 함 ○ 중앙정부차원에서 기술개발 및 표준 시스템을 구축하고 이를 각 지자체에 보급해 나가는 체계적 노력이 요구되는 시점임 ○ 이에 따라 회전교차로의 감응식 Metering 알고리즘 및 신호제어 시스템 기술개발’로 설정, 테스트베드 대상지의 지역적 특성을 반영하여 회전교차로의 교통 혼잡저감 및 회전교차로 본래의 기능을 유지하기 위해 지자체 및 정부의 체계적 협력을 통해 과학기술에 기반으로 한 새로운 대안을 마련하고, 이를 다른 지자체에 확산시켜 나가는 접근방식이 유효할 것으로 판단됨
3. 연구개발 내용	○ 회전교차로 실시간 신호미터링(Dynamic Signal Metering) 운영 알고리즘 기술개발 - 회전교차로 제어전략 및 알고리즘 개발 수립 - 효과검증을 위한 Simulation 환경 구축 - Simulation을 활용한 실시간 신호미터링 운영 알고리즘 효과검증 ○ 회전교차로 신호제어 소프트웨어 기술개발 - 교통수요 검지체계 개발 - 회전교차로 적용형 소형/저전력/저가격의 비매설 검지기 개발

- 회전교차로 진입 신호제어시스템 개발
- 회전교차로 정체도 판정기준 MOE 선정 및 교통정보 처리 알고리즘 개발
- 회전교차로 진입통제 신호등 개발
- 테스트베드 적용 기능 검증

○ 회전교차로 신호미터링 관리 및 운영 기술개발

- Test-Bed 구축 기술개발
- 회전교차로 신호미터링 시스템 시범운영을 통한 시스템 안정화 및 효과평가
- Test Bed 운영 및 안정화 : Test Bed 시범운영, 구축기술의 성능평가, 운영상의 문제점 분석, Test Bed 안정화, 신호미터링 효과평가
- 회전교차로 신호미터링 설치 및 운영 매뉴얼 개발 : 제반 지식을 제공하기 위한 매뉴얼

4. 연구개발 추진체계

□ 추진전략

○ 1단계

- 지역 교차로네트워크의 교통지체 및 주행안전성을 고려한 회전교차로의 실시간 신호제어시스템 개발
- 각 기술별 핵심요소 기술 개발
- 단계별 세부 추진계획 수립

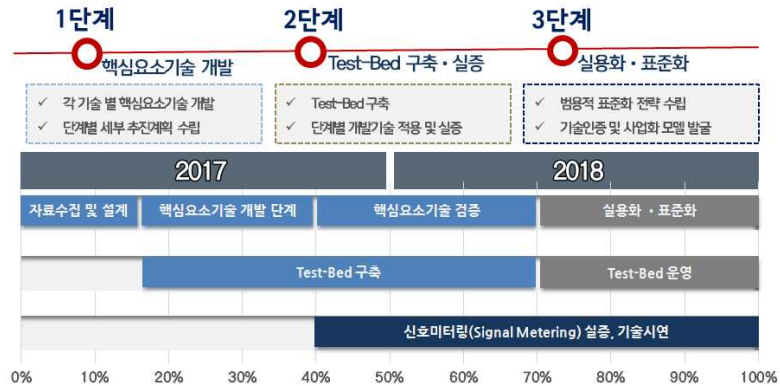
○ 2단계

- 착수와 동시에 테스트베드 조사 및 선정
 - 세부추진계획 수립. 사례조사, 요구사항 분석, 대상지 선정
- 단계별 개발기술 적용 및 실증
- 실용화 전략기술 선정 및 고도화

○ 3단계

- 회전교차로의 교통수요 감지, 진입신호제어 등 신호제어 소프트웨어 개발
- 회전교차로 신호미터링 시스템 시범운영을 통한 시스템 안정화 및 효과평가
- 회전교차로 신호미터링 시스템 설치 및 운영 매뉴얼 개발

- 기술인증 및 사업화 모델 발굴(거점 내 수요처)



5. 최종성과물

☐ 주요
최종성과물

- 회전교차로 실시간 신호미터링 운영 알고리즘 S/W
- 회전교차로의 교통수요 감지, 진입신호 제어 등 신호제어 S/W
- 회전교차로 신호미터링 시스템 설치 및 운영 매뉴얼
- 기술인증 및 사업화 모델 발굴

6. 연구기간 및 지원예산

☐ 전 체

- 총 연구기간: 2년
- 총 연구비: 10억원

7. 기대효과 및 파급효과

- 현재 정부에서는 2020년까지 국가온실가스 감축을 배출전망치 대비 최대 30%를 절감하는 것을 목표로 제시함
- 국가 온실가스 배출의 17%를 차지하고 있는 교통부문에서는 온실가스를 2020년까지 배출전망치 대비 33~37%를 감축해야함
- 신호미터링 시스템 개발을 통하여 회전교차로에서 지체에 의한 온실가스 배출 저감에 기여할 수 있음
- 또한 2012년 기준 전국교통혼잡비용이 33조 4천억원으로 2010년 이후 지속적으로 증가하고 있고 이 중 도시부도로가 약 21조3천억원으로 63.8%를 차지하고 있음
- 회전교차로 신호미터링 시스템 개발을 통해 도시부도로의 교통 혼잡비용을 감소시킬 수 있음
- 우리나라에서 회전교차로 설치가 확대되고 있는 상황에서 회전 교차로 신호미터링 시스템은 필수적으로 개발되어야할 기술임
- 기술이 개발되면 더 많은 지역, 더 넓은 범위(첨두시 교통량

기준)에 회전교차로 설치가 가능하므로 회전교차로 활성화 정책에 기여할 것으로 기대됨

- 신호미터링 시스템 기술 고도화를 통해 세계적인 기술 주도권 확보 및 국제 시장의 진입과 경쟁력 확보가 가능해질 것이며 회전교차로 분야의 선도적인 지위를 확보할 수 있는 밑바탕이 될 것으로 기대됨

참 고 문 헌

1. 국토해양부(2013), 도로용량편람, pp.490-521.
2. 국토교통부(2014), 회전교차로 설계지침
3. PTV(2011), VISSIM User Manual
4. 국토교통부고시 제2014-428호, “제3차 국가교통기술개발계획(2014~2018)”
5. 국토교통부 고시 제2016-578호, “제1차 국가도로 종합계획(2016~2020)”
6. EU집행위원회[Commission of the European Communities](2011), Transport 2050 : Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a competitive and resource efficient transport system
7. 유정호(2011), 다양한 유형의 국회 회전교차로 도입경위, 월간교통, 4-4.
8. Akcelik R.(2004), “Roundabouts with unbalanced flow patterns,” ITE 2004 Annual Meeting, Lake Buena Vista, Florida, USA, August 1-4.
9. Natalizio E.(2005), “Roundabouts with Metering Signals,” Institute of Transportation Engineers 2005 Annual Meeting, Melbourne, Australia, August.
10. 안우영 · 이소영(2013), “접근로별 포화도를 고려한 Roundabout Signal Metering 운영방법에 관한 연구”, 한국도로학회 논문집, 제15권 제5호
11. 이해선(2013), “신호운영 회전교차로의 효율적 운영방안 연구”, 가천대학교 석사학위 논문
12. 박준(2015), “회전교차로 신호미터링 적용방안 개발”, 서울시립대 석사학위 논문
13. 이솔 · 안우영(2016), “VISSIM을 활용한 회전교차로의 동적 신호미터링 운영방안 연구”, 한국ITS학회 논문지, 제15권 제2호, PP.74-84.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.