도심지 지능형 교차로 교통신호 제어 시스템

최형도[0] 전수빈 조영태 정인범
강원대학교 컴퓨터정보통신공학과
hdchoi@snslab.kangwon.ac.kr, ibjung@kangwon.ac.kr

Intelligent Signal Control System for Urban Intersection

Hyung-Do Choi[0] Soo-Bin Jeon Young-Tae Jo In-Bum Jung
Dept. of Program of Computer and Communications Engineering

요 약

IT 기술의 발달과 도시 서비스 및 경쟁력의 발전으로 인해 유비쿼터스 기술을 활용한 도시가 건설되고 있다. 이 도시들은 삶의 편의성뿐만 아니라 녹색성장 패러다임의 영향을 받아 친환경적인 u-City로 변화하고 있다. 하지만 이런 도시들의 교통정책은 이전 화석연료의 효율적인 사용보다 새로운 에너지의 개발에 보다 많은 비용을 투자하고 있다. 이런 상황에서 우리나라의 도로교통상황은 개인 자동차의 보유대수가 지속적으로 증가하고 있고, 단거리 구간에서의 교통 분담률 또한 증가하고 있다. 이런 상황은 도로에서의 자동차 대기시간을 증가 시켜 기존 화석 에너지의 낭비를 초래한다. 이러한 낭비는 환경오염으로 이어지고 있다.

본 논문은 기존 화석연료로 운용되는 자동차가 도심지 교차로에서 대기하는 시간을 줄여 효율적인 에너지 사용뿐 아니라 교통 체증을 해결하기 위한 방법으로 도심지 교차로에서 신호 대기 하는 차량의 대기 시간의 감소에 대해 연구하고 교차로에서의 신호 제어를 통해 자동차의 대기 시간을 감소시키는 것이 목적이다. 이를 위해서 실제 도로와 비슷한 시뮬레이션을 통해 교통량 가중치 기반 신호제어, 균등시간 신호제어, 선입선처리 신호제어 방법을 실험하였다.

1. 서론

유비쿼터스 도시(u-City)란 도시의 경쟁력과 삶의 질의 향상을 위하여 유비쿼터스 도시기술을 활용하여 건설된 유비쿼터스 도시기반시설 등을 통하여 언제 어디서나 유비쿼터스 도시서비스를 제공받는 도시를 말한다. 유비쿼터스 도시서비스란 유비쿼터스 도시기반시설 등을 통하여 행정・교통・복지・환경・방재 등 도시의 주요 기능별 정보를 수집한 후 그 정보 또는 이를 서로 연계하여 제공하는 서비스이다. 이러한 서비스는 유비쿼터스 도시기술을 기반으로 제공된다. 유비쿼터스 도시기반 기술이란 유비쿼터스 도시기반시설을 건설하여 유비쿼터스 도시 서비스를 제공하기 위한 건설・정보통신 융합기술과 정보통신기술을 말한다[1].

u-City는 세계의 심각한 자원고갈과 환경오염의 위기에서 대두되고 있는 녹색성장 패러다임의 영향을 받아 친환경적 u-City로 변화 하고 있다[2]. 이러한 변화는 에너지 사용의 관점에서 보았을 때 친환경에너지의 사용률 증가와 기존에너지 사용률 감소로 나누어 볼 수 있다. 기존의 연구들은 기존에너지 사용률 감소보다 친환경에너지의 개발과 사용에 대해 초점이 맞추어져 있다. 기존 에너지 사용의 관점에서 효율적인 에너지 사용에 대한 연구가 필요하다.

우리나라의 도로교통상황은 개인 자동차 보유 대수가 지속적으로 증가하고 있어 승용차의 교통수단 분담률이 높다. 또한 이러한 승용차의 분담률은 100Km이내의 단거리 구간에서 특히 높게 나타난다[3]. 특히 수도권과 같이 인구와 산업이 집중되는 도시의 교통난은 교통혼잡비용의 지속적 증가를 가져오며 이런 현상은 에너지 사용 측면에서 비효율성을 증가시키고 있다. 또한 도시권의 공간구조, 통행상황을 고려한 종합 교통 처리 대책 미흡으로 이러한 현상은 더욱 심화되고 있다. 또한 교토의정서[4]에 따른 국가별 온실가스 규제 시행으로 인해 에너지 절약형 교통정책이 필요하게 되었다.

기존의 국내 도로교통 정책 추진방향은 고속도로나 신규 도로에 대한 정책은 많지만 기존의 도로에 대한 정책은 부족하다. 특히 도심내의 교차로에서 발생하는 교통신호에 따른 정체현상에 대한 연구는 부족한 실정이다. 또한 기존의 정체구간에서의 교통신호는 원격에서 CCTV 영상을 이용한 통제 또는 정체구역에 직접 경찰관이 동원되어 교통신호를 통제하는 방식을 사용하고 있다. 이러한 방식은 그 환경을 구축하는 비용이나 경찰관이 직접 방문해야하는 문제점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해서는 자동으로 도로의 교통 혼잡상태를 수집하여 교통신호를 무인으로 조절할 수 있는 시스템의 연구가 필요하다.

본 연구에서는 교통상황을 인지하여 교통신호를 변경하는 시스템에 관한 연구를 수행하고자 한다. 이 연구

를 통하여 첫째, 교차로에서의 대기시간을 줄이기 때문에 공회전으로 낭비되는 에너지를 줄일 수 있고, 두 번째로 긴 대기시간으로 인해 발생되던 운전자의 스트레스를 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

2. 관련연구

2.1 ITS(Intelligent Transportation System)

인간이 산업혁명을 이룬 후 탈것은 말과 같은 동물에서 자동차로 변화하였다. 자동차의 발달은 사람에게 보다 편리한 이동 수단을 제공해 왔고 산업 분야에 빠른 이송을 가능하게 하였다. 하지만 산업 및 기술의 발전으로 자동차의 보급이 급속도로 증가하여 교통의 혼잡은 갈수록 심화되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 도로확충과 같은 물리적 시설물의 확장을 사용해 왔다. 하지만 물리적 확장은 그 비용이 상당히 크고 지리적 위치에 따라 물리적 확장이 불가능 할 수도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 첨단 IT 기술을 이용해 기존 시설물을 좀 더 효율적으로 이용하고자 하는 움직임의 일환으로 ITS가 연구되고 있다. ITS는 교통 네트워크와 정보통신 네트워크의 통합시스템으로 실시간 교통정보 수집, 관리, 제공 등의 효율적인 교통 환경을 제공하고 체계적으로 이를 운영할 수 있게 해주는 시스템을 말한다. ITS는 차량과 교통 시설물 양쪽에 안전성 증가와 쾌적성 증가, 교통 혼잡완화를 통한 교통시설 이용의 극대화, 대중교통 이용확대를 통한 대중교통의 정보화와 첨단화, 물류 수송체계의 정보화와 과학화를 통한 물류비 절감, 환경영향의 감소를 목적으로 현재 여러 국가에서 연구, 발전되고 있다[5,6].

ITS를 구분하는 기준은 다양하지만 그 기능으로 구분을 하면 교통 정보 수집, 교통정보 관리, 교통정보제공, 교통관리로 크게 4가지로 구분할 수 있다. 교통정보 수집 기능은 활용이 가능한 교통정보를 다각적인 방법으로 수집하는 활동으로, 차량 검지기, 차량번호인식장치, 동영상 정보수집 장치기술등이 이에 속한다. 교통정보 관리 기능은 교통정보의 분석, 관리를 통해 최적의 정보를 생성하는 활동으로 정보관리 서버 및 DB서버를 이용하는 기술에 해당한다. 교통정보 제공기능은 생성된 다양한 정보를 필요한 곳에 제공하는 활동을 말하며 현재 인터넷기술, 자동 응답 장치 등을 통해서 여러 교통정보를 사용자에게 제공하고 있다. 마지막으로 교통관리 기능은 교통정책 및 시행에 대한 종합적인 관리 및 통제 활동을 말하며 신호제어, 사고관리, 위반단속 등이 여기에 속한다.

2.2 신호제어 알고리즘

국내외 신호제어시스템의 제어방식은 미리 입력된 신호시간 정보에 의해 운영되던 정주기식 제어에서, 현장의 교통상황에 따라 신호 체계가 자동으로 조절되는 실시간 교통류 대응 제어로 발전되어 왔다. 그리고 점유율, 포화도, 대기차량 길이, 교통량 등 군집 교통정보가 주요 신호제어의 운영 자료로 이용되고 있다, 하지만 기존의 신호제어 전략 및 알고리즘은 유선 신호시스템의 고정 검지기체계의 지리적 한계성 때문에 개발에 많은 제약이 있었다.

기존의 신호주기 및 녹색시간 분할 등의 변수결정에 필요했던 연산처리 과정에서부터 궁극적으로 신호제어 목표에 이르기까지 많은 변화가 예상된다. 기존의 유출교통량의 극대화, 대기행렬 길이의 극소화 등의 제어에서 개별차량 인식정보기술을 활용한 응급차량 우선 제어, 교차로 내의 통행시간 최소화 제어 등으로 제어 목표를 확대할 뿐만 아니라, 고정식 주기에 의한 제어에서 Cycle-free 제어 등으로 전환인 가능하다. 신호제어 알고리즘 및 전략을 개발할 때 다음과 같은 요소를 고려해야 한다.

- 신호제어방향
- 신호제어변수
- 신호 현시체계 및 신호시간
- 신호제어 목표
- 신호제어 단위
- 우선 신호 부여 여부 등

현행 신호체계에 대한 연구나 개선 사업은 주간이나 통행량이 많은 곳을 위주로 연구되어 왔으며, 차량통행이 적은 야간이나 인적이 한적한곳의 신호체계에 대한 연구는 상대적으로 개선이나 연구의 관심에서 벗어나 있는 실정이다[7].

3. 교통량 기반 교통신호 제어 시스템

3.1 신호제어 알고리즘

실험에 사용된 알고리즘은 균등시간 신호 제어방법, 선입 선 처리 신호 제어방법, 교통량 가중치 기반 신호 제어 방법을 실험에 사용하였다. 균등시간 신호 제어 방법은 교차로 각각의 도로마다 균일한 시간을 배정하여 신호를 제어하는 방법으로 대부분의 교차로에서 사용하는 방법이다. 선입 선 처리 신호 제어방법은 각 도로에 차량이 진입한 시각을 측정하여 가장먼저 진입한 차량이 있는 도로에 대기 차량의 수를 통해 연산한 녹색신호 시간만큼 신호를 할당하는 방법으로 그림 1의 순서도와 같이 동작한다. 마지막으로 교통량 가중치 기반 신호 제어방법은 현재 도로에 존재하는 대기 차량의 수를 통해 녹색신호 시간을 연산하고, 각 신호를 정해진 순서에 따라 신호를 제어하는 방법으로 그림 2의 방식으로 설명할 수 있다.

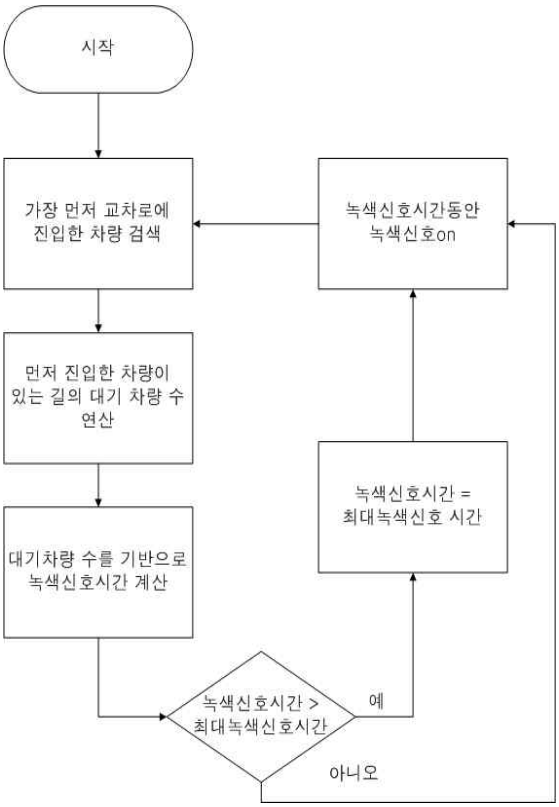

그림 1 선입선처리 신호 제어 순서도

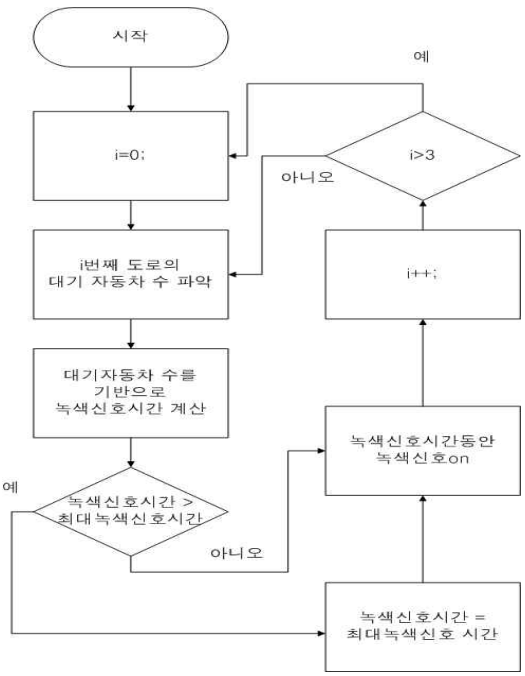

그림 2 교통량 가중치 기반 신호제어 순서도

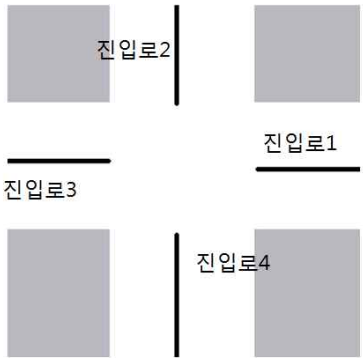

그림 3 실험 교차로 모형

3.2 실험 환경

실제 교통 상황과 비슷한 환경을 제공하기 위해 가상으로 교통부하를 발생시켜 실험을 진행하였다. 교차로에 연결된 4개의 도로를 그림 3과 같이 각각 1,2,3,4번 도로로 구분하였다. 2, 4번 도로를 주도로로 하여 주도로와 부도로의 교통비율을 1:1로 하여 실험을 진행하였다. 교통량 부하는 푸아송 분포를 사용하여 단위 시간당 몇 대의 차량이 도로에 진입했는지를 연산하였다. 실제 도로에서는 우회전 차량과 보행자 신호등의 여러 변수가 존재 하지만, 우회전, 좌회전, 직진에 대한 비율이 교차로와 주/부도로 여부 등에 따라 차이가 있기 때문에 모든 차량은 녹색신호에만 이동이 가능하다고 가정하였다.

또한 실제 상황에서는 도로 구조 및 도로 길이에 의해서 일정 차량이상이 도로에 진입하지 못하지만 본 실험에서는 빠져나가지 못한 차량은 계속해서 도로에 있다고 가정하고 실험하였다.

4. 실험결과 및 분석

실험은 교차로에 도착하는 차량의 순서대로 번호를 지정하여 각 차량이 교차로에 진입한 시간과 차로에서 탈출한 시간을 측정하여 교차로 내에서 대기한 시간을 구하였다.

그림 4은 균등시간 신호 제어 방법을 사용했을 때 각 차량의 대기시간을 그래프로 나타낸 것이다. 균등시간이기 때문에 대기하는 차량과 대기 없이 빠져나가는 차량의 대기시간 차이가 크다. 예를 들어 1번 진입로에 차량이 없고 2번 진입로에는 대기 차량이 많다고 가정을 하면 균등시간 신호 제어는 1번 진입로에 일정시간의 녹색신호시간을 무조건 할당하기 때문에 1번 진입로에 녹색신호가 할당되었을 때는 어떤 차량도 교차로를 빠져나가지 못하고 대기해야하는 상황이 발생한다. 이로 인해서 차량이 대기 중인 2번 진입로의 모든 차량은 1번 진입로의 녹색신호 시간이 끝날 때 까지 대기 상태로 기다려야 한다.

그림 5은 선입 선 처리 신호 제어방식으로 신호를 제

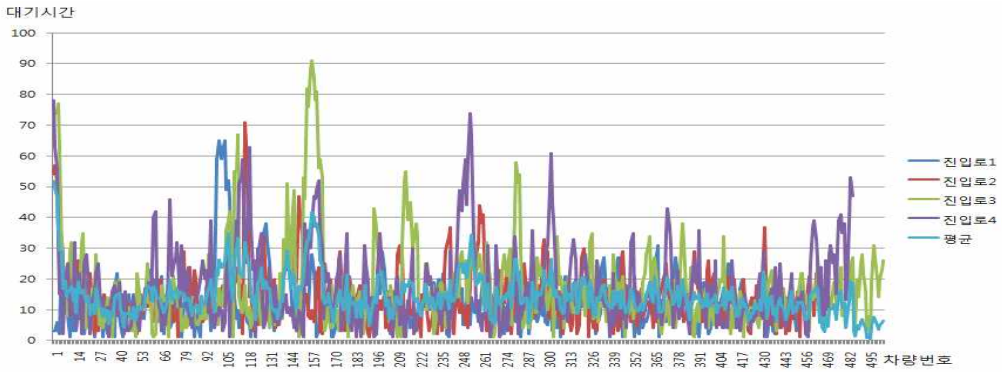

그림 4 균등시간 신호 제어 결과

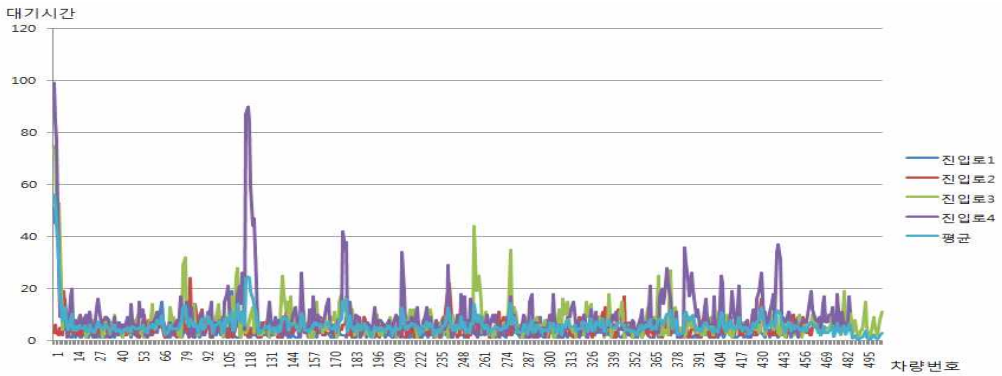

그림 5 선입선처리 신호 제어 결과

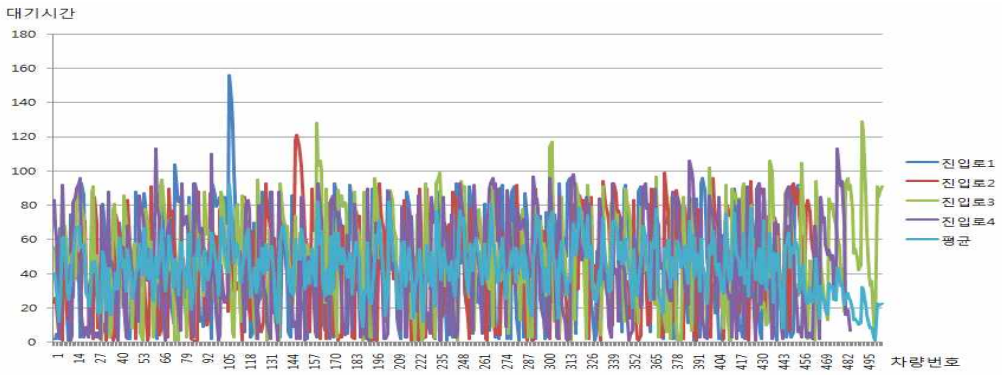

그림 6 교통량 가중치 기반 신호 제어 결과

어했을 경우의 각 차량의 대기시간 그래프이다.

많은 차량이 약간의 차이를 두고 각 교차로에 진입했을 경우 진입로에 남아있는 차중에서 가장 먼저 도착한 차량이 있는 곳에 시간을 할당하기 때문에 상대적으로 긴 시간을 대기 하는 차가 발생하는 경우를 확인 할 수 있다.

그림 6은 교통량 가중치 기반 신호제어방식으로 제어했을 경우의 대기 시간 그래프이다. 이 경우에는 각 진입로의 신호가 순서대로 할당되기 때문에 다른 진입로의 차량이 많을 경우 대기시간이 늘어난다는 단점이 발생한다. 표 1은 실험 데이터를 분석한 결과이다.

그림 7의 평균대기시간을 선입 선 처리 신호제어 방식의 결과가 가장 우수하고 그 뒤가 교통량 가중치 기반 신호제어임을 알 수 있다. 그림 8의 최대 대기시간의 경우는 교통량 가중치 기반 신호제어가 선입선처리 신호제어보다 좋은 결과를 나타내고 있다.

교차로에 진입한 차량의 대기시간만을 평가의 기준으로 하면 교통량 가중치 기반 신호 제어보다 선입선처리 신호제어의 성능이 더 우수한 것을 확인 할 수 있다. 하지만 실제 도로에서 사용되기에는 교통량 가중치 기반 신호제어가 더 좋다고 판단한다. 교통신호의 경우 신호체계가 교통법규에 의해 정의가 되어있다. 예를 들

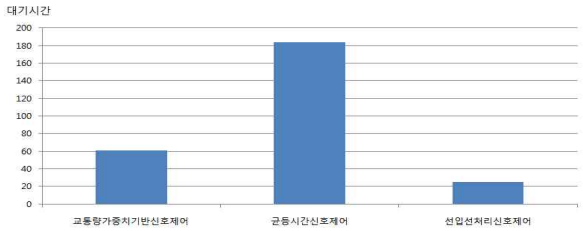

그림 7 평균 대기 시간 비교

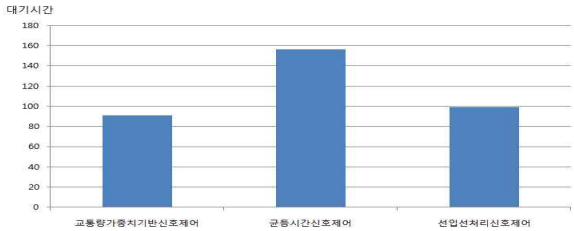

그림 8 최대 대기 시간 비교

표 1 실험 결과 분석

구분			통과 차량수	최대 대기시간	평균 대기시간	분산
제어 방식	교통량 가중치 기반 신호제어	진입로1	454	65	12.26	86.72
		지입로2	465	71	14.11	92.28
		진입로3	505	91	17.32	211.79
		진입로4	486	78	17.47	168.9
	균등시간 신호제어	진입로1	454	156	45.41	949.03
		진입로2	465	121	45.07	855.18
		진입로3	505	129	48.77	854.29
		진입로4	486	113	44.93	892.41
	선입선처리 신호제어	진입로1	454	51	3.42	22.01
		진입로2	465	24	4.82	10.35
		진입로3	505	75	7.13	52.12
		진입로4	486	99	9.63	126.89

어 교차로 신호의 경우 좌회전과 직진 신호의 순서가 좌회전 우선순위 체계에서 직진 우선순위 체계로 변경되었다. 교통신호체계를 법으로 규정하여 강제한 것이다. 이것은 무분별한 신호 순서의 변경은 예측운전 운전자에게 사고 발생의 위험을 높이고, 본 실험에서는 제외 하였던 보행자 신호의 할당 문제가 발생한다. 교통량 가중치 기반 신호제어는 일정한 순서로 신호가 바뀌며 보행자 신호의 시간을 최소 녹색신호시간으로 설정하여 활용한다면 문제없이 실제 도로에서 사용될 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 교통량 기반 도심지 교통신호 제어 방법을 제안하였다.

교통량 기반 도심지 교통신호 제어 방법은 기존의 균등시간 신호 제어 방식에 비해 효율적이며 교통 신호체계 변경이 없어 본 실험에서 가장 효율적인 성능을 보인 선입선처리 신호 제어 방식에 보다 안정성에서 뛰어나 실제 환경에서도 활용할 수 있을 것이다. 이를 통해서 줄어든 대기시간으로 인해 공회전을 통한 이산화탄소배출량이 감소할 것으로 예측된다.

교통신호제어에 있어서 안전성이란 요소는 매우 중요하다. 하지만 안전성을 객관적으로 수치화해 비교할 수 있는 방법에 대한 연구가 부족하여 추측만으로 비교가 진행되었다. 이를 해결하기 위해 안전성 측정 척도에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] 유비쿼터스도시의 건설 등에 관한 법률

[2] 기후변화와 u-City 워크샵, 강원대학교 u-GreenCity 연구센터

[3] 국가통계포털 http://www.kosis.kr/

[4] 에너지 관리공단 http://co2.kemco.or.kr/

[5] I. T. King-Man, “Intelligent Transport Systems,“Better air Quality Motor Vehicle Control & Technology Workshop, 2000.

[6] L. Figueiredo, I. Jesus, J. A. Tenreiro Machado, J. R. Ferreira, J. L. Martins de Carvalho, “Towards the Development of Intelligent Transportation Systems,“ 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, 2001.

[7] 문영준, “차세대 무선통신 교통신호제어시스템의 개발 목표 및 전략“, 한국교통연구원, 월간교통, pp. 16-22, 2006