

신호교차로 좌회전 효율적 처리를 위한 유턴차로 설치방법 연구

A Study on Installation of U-Turn Lane for Efficient Operation of Left Turn at Signalized Intersections

Chahgwha Park^{a,1}, Byoungjo Yoon^{b,*}, Bongsuk Kang^{c,2}

^a Incheon National University, Incheon 406-772, Republic of Korea

^b Incheon National University, Incheon 406-772, Republic of Korea

^c Incheon National University, Incheon 406-772, Republic of Korea

ABSTRACT

Until now, u-turn lane installation methods have been studied variously. But, There is no specific standard yet. This study ranges are commercial area in Incheon metropolitan city through field investigation and presents specific design standard for efficient operation of left turn using a field data through calculating relevant permitted u-turn lane length and minimum separation distance from the front intersection to starting point of permitted u-turn lane in urban signalized intersections in commercial area. Relevant permitted u-turn lane length is found to be 32m and minimum separation distances from the front intersection to starting point of permitted u-turn lanes are 72m, 40m, 24m in case of 1 left turn lane, 2 left turn lanes and 3 left turn lanes respectively. By comparing result values and field data, they had a large difference under the similar situations in their lengths.

This result is caused of no specific standard about design of u-turn lanes. If results of this study applied to design of u-turn lanes, signalized intersections in urban commercial areas would be operated more safety and efficiently.

KEYWORDS

U-Turn
U-Turn Location
U-Turn Length
Efficient Operation
of Left Turn,
Signalized
Intersections

지금까지 유턴차로의 설치방법들에 관한 연구는 다양하게 이루어져 왔다. 그러나 구체적인 기준이 제시되지 못하고 있어 유턴차로 설계기준의 마련이 시급한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 인천광역시 상업지역을 대상으로 현장조사를 수행하고, 해당 자료를 활용하여 도시부 상업지역 내 신호교차로의 효율적인 좌회전 처리를 위한 유턴허용구간의 적정길이와 전방교차로로부터 유턴 허용구간까지의 최소거리를 산정하여 구체적인 설계기준을 제시하였다. 연구 결과 유턴허용구간의 적정길이는 32m로 산출되었고, 전방 교차로로부터 유턴허용구간의 시점까지의 최소 이격거리는 좌회전 차로수가 1차로인 경우 72m, 2차로인 경우 40m, 3차로인 경우 24m인 것으로 도출되었다. 이렇게 도출된 결과값을 현장조사 값과 비교한 결과 유턴허용구간의 길이 및 전방교차로로부터 유턴허용구간 시점까지의 최소 이격거리가 유사한 조건하에서도 차이가 크게 남을 확인할 수 있었다. 이는 유턴차로의 설계에 관한 구체적인 기준이 제시되어있지 않아 발생된 결과로 판단된다. 본 연구의 결과를 향후 유턴차로의 설계에 반영한다면 보다 안전하고 효율적인 교차로 운영이 가능해 질 수 있을 것으로 판단된다.

유턴
유턴차로설치위치
유턴차로길이
효율적인좌회전처리
신호교차로

© 2015 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-32-835-8778. Email. bjoon63@inu.ac.kr

1 Tel. 82-32-835-8774. Email. pcwgreen@inu.ac.kr

2 Tel. 82-32-835-8786. Email. jsakbs@hanmail.net

ARTICLE HISTORY

Received Nov. 24, 2015

Revised Nov. 25, 2015

Accepted Dec. 10, 2015

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

도시부 교차로의 효율적인 좌회전 처리를 위해 유턴에 의한 영향은 반드시 고려되어야 한다.

교차로에서 유턴은 차량의 소통을 원활하게 하고 운행거리와 통행시간을 단축시킬 수 있는 매우 유용한 교차로 운영 기법이다.

그러나 유턴차로의 설치에 관한 다양한 연구가 이루어져 왔으나, 현재까지 명확한 설계기준으로 제시되지 못하고 있어 효율적인 교차로 운영을 위한 유턴차로 설계기준의 마련이 시급한 것으로 판단된다.

이에 본 연구는 신호교차로에서 유턴차로를 설치하는 명확한 기준을 제시하고자 전방교차로로부터 유턴 허용구간까지의 최소거리와 유턴 허용구간의 적정길이를 산정하여 명확한 유턴차로의 설치기준을 정립하는 것을 목적으로 한다.

2. 기존연구 고찰

경찰청(2012) 교통노면표시 설치·관리 매뉴얼에서는 유턴 구역선의 설치기준에 관하여 다음과 같이 언급하고 있다. 유턴구역선은 편도 폭 9m 이상의 도로에서 인접교차로간 거리 및 신호주기 등 주변 교통여건을 감안하여 자동차의 유턴이 허용된 구간 또는 장소내의 필요한 지점에 교통안전표지와 함께 설치하여야 한다. 유턴을 하는 자동차는 교통안전표지에 지시된 내용에 따라 반대방향 및 선행차량 그리고 보행자 등의 통행을 방해하지 않는 범위 내에서 유턴을 하여야 한다. 유턴표지의 설치해당지점에 설치하여야 하나 중앙분리대의 유·무 등 도로여건에 따라 교통신호등 부착대(arm)에 설치할 수 있다. 단, 도로의 물리적 특성 등 교통여건이 충족되는 경우라도 유턴에 따른 교통장애 및 사고위험이 있는 도로구간이나 지점은 설치하지 않아야 한다.

유턴허용구간에서 유턴방법은 교통안전을 위하여 순차적으로, 유턴허용차량은 회전반경 등을 고려하여 승용차로 제한하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 차로의 폭원 등 도로여건에 따라 자동차의 회전반경, 차종별 교통량 등을 고려하여 교통안전표지에 의하여 승용차 이외 차량의 유턴을 허용할 수 있다. 유턴구역선의 길이는 단일로 및 교차로 등 설치장소의 교통여건과 운전자의 행동특성에 근거한 공학적 판단에 의하여 결정하지만, 최소 승용차 2~3대에 해당하는 길이를 확보하여야 하며 승용차 1대당 6m로 하여 산정한다고 제시되어 있다.

기존 유턴차로 관련 연구로 오윤표(2004)는 유턴 교통의 특성과 적정신호시간모형구축에 관한 연구에서 부산시의 사례를 중심으로 유턴 운영에 따른 회전교통류의 특성조사를 실시하고 유턴에 대한 운전자들의 의식조사를 병행하여 유턴의 교통특성과 효과를 고찰하고 이를 바탕으로 적정 유턴 신호시간모형의 문제점을 분석함으로써 보다 효율적이고 실질적인 유턴운영 방안을 제시하였다. 부산광역시의 3개 교차로를 대상으로 운전자의식과 유턴 운영의 현황을 조사 분석한 결과 유턴 허용시간의 부족이 현행 유턴의 가장 큰 문제점임을 확인하였고, 이 외에도 유턴 표지의 가시성 문제, 유턴 전용차로의 부족 등이 현행 유턴규제의 문제점임을 확인하였다. 해당 연구에서는 현행 유턴의 가장 심각한 문제인 유턴 신호시간을 검토하고 적정 유턴 신호시간모형을 구축하였다. 적정 유턴 신호시간 모형에 따라 오전·오후 침투시간대에 자갈치 교차로는 12초와 20초, 부평교차로는 7초와 10초, 하단교차로는 유입 a의 경우 6초와 5초, 유입 b의 경우 23초와 31초의 신호시간 연장이 필요한 것으로 나타났다. 또한 원활한 대도시 간선도로 교차로의 운영을 위해서는 적정 유턴 신호시간의 적용 뿐만아니라 유턴에 대한 세부시행규칙을 명문화하여 유턴 방법과 장소를 표준화시켜야 하며, 유턴 보조표지의 가시성을 향상시키고, 운전자에 대한 교육 및 홍보를 강화하여 유턴에 대한 인지도를 높여야 한다고 주장하였다.

이정환 등(2008)은 신호교차로에서 유턴 허용구간의 위치 및 적정길이 산정에 관한 연구에서 교통량과 주행속도를 주요 변수로 하여 차량의 정지시거와 좌회전 차량들의 대기행렬길이를 고려한 유턴 허용구간과 전방교차로와의 적정 이격거리를 산정하였고, 현장조사를 통해 실제 유턴 차량의 행태를 분석하여 상충의 행태를 분류하고 상충과 유턴 허용구간의 길이와의 관계분석을 통해 차로변경각도와 주행속도를 변수로하여 유턴 허용구간의 길이를 산정하였다. 마지막으로 유턴 허용구간과 후방교차로의 거리는 교통량과 주행속도, 차로변경각도를 주요 변수로 하여 간격수익이론을 통해 적정

이격거리를 산정하였다. 그리고 몇 가지 교통조건들의 환경을 설정하여 모의실험을 통해 소통과 안전을 고려한 유턴차로의 설계방법을 제시하였다.

박광원(2009)은 도시부 신호교차로 유턴허용구간의 설계기준에 관한 연구에서 설계기준 제시를 위해 신호교차로에서 유턴하는 차량에 영향을 미치는 범위를 3개 구간으로 구분하여 설계 방법론을 제시하였다. 첫째, 유턴허용구간과 전방교차로의 설계기준은 차량의 정지시거와 좌회전, 유턴 차량들의 대기행렬길이를 고려하여 정지시거모형으로 제시된 적정 이격거리와 대기행렬길이 산정모형으로 제시된 적정 이격거리 중 모든 조건을 만족할 수 있는 큰 값을 설계기준으로 제시하였다. 둘째, 유턴허용구간의 설계기준은 광주광역시 내 유턴이 이루어지고 있는 신호교차로를 대상으로 현장조사를 실시하고, 수집된 자료를 통해 실제유턴차량의 행태와 상충형태를 분석하였다. 셋째, 유턴허용구간과 후방교차로와의 설계기준은 간격수락모형을 통해 제시하였다. 이러한 방법으로 제시된 기준을 현행기준과 비교·분석하여 연구에서 제시한 유턴허용구간의 위치 및 적정길이가 안전에 더 긍정적인 영향이 있음을 확인하고 허용구간의 위치 및 적정길이에 대한 설계기준으로 제시하였다.

양재호 등(2013)은 도시부 상업지역 내 신호교차로의 좌회전 도착분포 특성을 고려한 적정 대기차로 길이 산정에 관한 연구에서 도시부 상업지역 내 신호교차로의 좌회전 대기차로 도착분포를 제시하였고, 대형차 혼입율을 알 수 있는 경우와 없는 경우를 구분하여 차종별 구성비율을 반영한 대기차로 적정길이를 산출하였다. 또한 대기차로 길이산정시 차량의 길이가 아닌 차두간격을 적용한 보다 현실적인 대기차로 길이산정 기법을 제안하였다. 또한 유턴차로의 길이 및 시점결정을 위해 현장조사를 수행하고, 도출된 결과값과 현장조사값을 비교하여 유턴 허용구간의 길이 및 전방교차로로부터 유턴허용구간 시점까지의 최소 이격거리가 유사한 조건하에서도 차이가 크게 남을 확인한 후 구체적인 설계기준을 제시하였다.

Daniel L. Carter(2004)는 신호교차로의 유턴에 대한 운영요인과 안전요인을 구분하여 분석하였다. 운영분석은 좌회전 차량이 포함된 14개 교차로를 그 대상으로 하여 회귀분석을 시행하였고, 안전분석은 문제가 있는 교차로 24개 교차로와 무작위 선택된 54개 교차로를 종합하여 총 78개 교차로를 대상으로 분석을 시행하였고, 유턴 사고가 발생할 것으로 예상되는 13개 교차로에 대한 특성을 도출하여 제시하였다

3. 기존 설계기법의 문제점 및 개선 방법론

3.1 기존 설계기법의 문제점

3.1.1 유턴 허용구간의 적정길이 산출 필요

유턴구역선의 설치기준은 승용차 2~3대에 해당하는 12~18m로 하되 교통량, 차로수, 신호 주기 등을 고려하여 결정하도록 되어있다. 그러나, 해당 매뉴얼에서 제시한 대당 6m의 길이는 소형자동차의 설계기준에 해당하므로 매뉴얼의 표현이 수정될 필요가 있다고 판단되며, 교통량, 차로수, 신호주기를 고려하여 유턴차로의 길이를 결정하는 구체적인 방법은 언급되어 있지 않다. 또한 설계기준에서 제시된 6m는 소형자동차의 실제 차두간격이 아닌 순수 차량의 길이만이 고려된 길이로서 유턴 수요를 처리하기에 매우 짧은 길이이다. 이를 활용한 설계는 곧바로 유턴 대기차량의 본선 침범을 유발하게 되어 추돌사고 및 교차로 운영효율 저하 등의 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 유턴 허용구간의 길이 산출식을 도출하고 산출식에 적용할 변수의 값을 현장조사를 통해 결정한 후 도시부 상업지역 내 유턴 허용구간의 적정길이를 산정하여 설계의 기준으로 제시하고자 한다.

3.1.2 유턴 허용구간의 시점 결정 필요

유턴 허용구간의 설계를 위해 유턴 허용구간의 시점, 즉 전방교차로로부터의 이격거리를 산출하여야 한다. 그러나, 기존 설계기법에 제시된 사항을 보면 정지선으로부터 유턴표시 화살표를 그리는 간격만 제시되어 있고, 별도의 이격거리는 제시되어 있지 않다. 이격거리 없이 유턴차로를 설치할 경우 유턴 대기차량이 좌회전 대기차량의 대기공간을 점유하게 되어 좌회전차로의 효율을 떨어뜨리게 된다. 따라서 유턴허용구간의 시점을 결정할 때에는 좌회전 대기행렬의 길이를 고려하여야 한다.

3.2 개선방법론 정립

3.2.1 유턴 허용구간의 적정길이 산출 방법론

차로폭이 3.5m이고 대향차로수가 3차로인 경우 2대가 동시에 유턴을 실시할 때 자동차의 최소 회전궤적으로 인해 1차로나 2차로의 진입은 불가능하며 3차로로 진입하는 경우밖에 없다. 이때 상충이 일어나는 경우는 같은 거리를 주행하므로 전방에서 주행하는 차량이 후방에서 진행하는 차량보다 더 빠르게 회전하는 경우와 전방차량이 먼저 유턴을 실시한 후 조금 늦게 후방차량이 유턴을 실시하여 상충지점에서 두 차량이 만나는 경우를 들 수 있다. 이를 바탕으로 상충이 발생하지 않을 상황의 이론 전개를 위하여 Table 1과 같이 가정하였다.

Table 1. Assumptions for the U-turn allowed interval estimation

Length and width of the vehicle : 4.7m × 1.7m
Lane width : 3.5m
The U-turn vehicle traveled in the middle of the lane.
U-turn the vehicle is rotated at a constant radius.
The U-turn the vehicle in conflict arises between the U-turn the vehicle and a U-turn vehicle.
The U-turn vehicles all traveling at constant acceleration.
Driving the vehicle is subjected to constant velocity U-turn.

차량은 유턴을 실시하기 전에 정지상태에 있으며 대향차로에 차량이 주행하지 않는 상태, 즉 안전이 확보된 상태에서 유턴을 실시하게 된다. 그리고 본 연구에서는 승용차량의 회전반경이 6m인데 차량은 차로 중심에서 주행한다는 가정하에 6.1m()를 적용하였으며, 차량이 각기 다른 속도의 등가속도 운동을 한다고 가정하였다. 그리하여 본 연구에서는 가속도를 고려하여 평균속도를 적용하였다.

유턴 허용구간의 적정길이 산출을 위한 현장조사를 시행하였다. 연구의 대상이 되는 교차로는 2012년도 인천광역시 도시교통기초조사의 조사대상이 되었던 교차로 60개소 중 인천광역시 도시계획총괄과상의 토지이용계획을 참고하여 상업지역 8개소를 분류하였다. 상업지역을 조사대상으로 분류한 이유는 주거, 공업, 녹지 등의 토지이용보다 훨씬 더 많은 교통량과 다양한 유턴 통행행태를 가지고 있기 때문에 본 연구의 대상으로 적절하다고 판단하였기 때문이다. 분류된 교차로 중에서도 유턴을 허용하는 교차로 3개소를 연구의 대상으로 선정하였다. 연구의 대상을 정리하여 Table 2에 제시하였다.

Table 2. U-turns selecting subjects for the proper calculation of the allowable length interval

Number of example	Name of Intersection	U-Turn	Number of Left Turn	Length of starting point of U-Turn permitted period (L_1)	Length of U-Turn permitted period (L_2)	Lane width	Selected
1	Dowha elementary school	○	1	25m	14m	3m	○
2	Bupyung Station	○	2	32m	8m	3m	○
3	Gum Dan	○	1	60m	8m	3m	○

유턴 허용구간의 적정길이 산출하기 위해 연구의 대상으로 구분한 교차로에 대해 현장조사를 수행하여 자료를 확보하였다. 연구의 대상인 도화초교사거리, 부평역사거리, 검단사거리의 유턴차량의 특성을 파악하기 위해 인천교통정보센터의 CCTV 자료와 2011년, 2012년 인천광역시 교통량조사 동영상 자료를 조사의 기초자료로 활용하였고, CCTV와 교통량조사 동영상에서 확인하기 힘든 부분인 경우에는 직접 해당 교차로를 동영상으로 촬영하여 부족한 자료를 보완하였다. 차량 평균주행속도와 유턴 후 전방차량속도는 시험차량을 이용해 직접 주행하여 측정하였고, 10회 주행하여 얻

은 속도의 값을 평균하여 5km/h의 간격으로 제시하였다.

현장조사 결과 도화초교사거리는 1시간동안 총 10대의 유턴차량을 확인할 수 있었고, 10대는 승용차 5대, 소형차 5대로 구성되어 있었다. 부평역사거리는 1시간동안 총 120대의 유턴차량을 확인할 수 있었고, 승용차 72대, 소형차 30대, 대형차 18대로 구성되어 있었다. 검단사거리는 1시간동안 총 8대의 유턴차량을 확인할 수 있었고, 8대 모두 승용차였다.

Table 3. Survey Information of Intersections

Classification		Dowha elementary school	Bu-pyung Station	Gum-Dan
Survey Date and Time		2012. 9.6 08~09	2014. 9.30 08~09	2014. 10.01 08~09
Number of U-Turn vehicles	Subtotal	10	102	8
	Cars	5	72	8
	Small Cars	5	30	0
Length of starting point of U-Turn permitted period (L_1)(m)		25	32	60
Number of Opposite lane		3	4	3
Radius (m)	R_{a2}	5.5		
	R_{b2}	5.5		
Vehicle Speed (km/h)	V_{a1}	10		
	V_{b1}	15		
Speed of ahead vehicle after U-Turn (V_{b2})(km/h)		20		

차량의 평균주행속도와 유턴 후 전방차량속도를 파악하기 위해 대향차로로 진입하는 우회전 교통량에 의해 유턴 통행이 방해받을 경우는 분석의 대상에서 제외하였다. 차종의 경우 경찰청(2012) 교통노면표시 설치·관리 매뉴얼에서 기준으로 제시한 길이 6m를 만족하는 차종인 승용자동차와 소형자동차를 조사대상으로 하였다. 유턴허용구간의 길이 산출식은 이정환(2008)의 연구에서 제시한 대향 3차로에서의 교통상충을 고려한 산출식을 사용하였다.

유턴허용구간 산정을 위한 가정사항은 차량의 길이와 폭, 차로폭, 주행특성들이다. 차량의 길이와 폭은 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설에서 제시하고 있는 설계기준자동차 중 소형자동차의 길이와 폭을 적용한다. 유턴차량은 차로의 중심에서 일정한 반경으로 회전하며 등속, 등가속주행을 하는 것을 가정한다. 회전반경은 현장조사의 결과 모든 교차로에서 차로폭은 3.0m였고, 분석의 전제에서 차량은 차로의 중앙에 위치하는 것으로 가정하였으므로 차로폭 3.0m에 차량 왼편 여유폭 0.5m, 소형차 폭 2.0m를 합한 값인 5.5m를 적용한다. 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설(2009)에서 제시하는 설계기준자동차 중 소형자동차의 회전반경은 7.0m이나, 차량은 차로의 정중앙에 위치하여 회전하며 차로의 중심에서 일정한 반경으로 회전을 전제하였으므로 본 연구에서는 공히 5.5m를 적용한다.

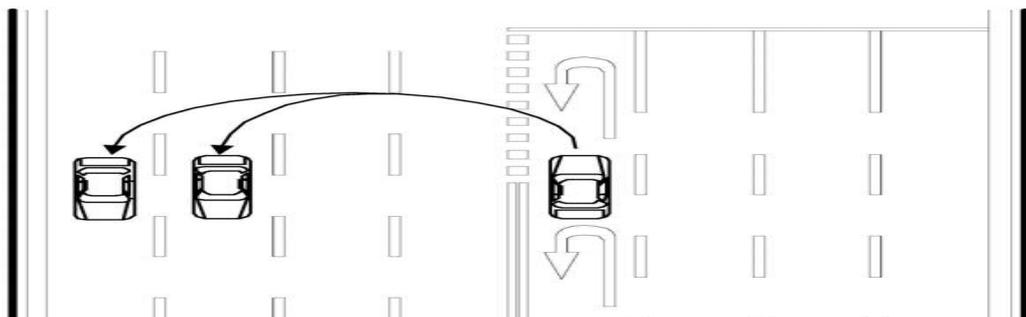


Fig 3.1 U-turn vehicle type

그림 3.1에서 확인할 수 있듯이 와 같은 길이이며, 이들은 각각 1개 차로의 차로폭과 차량 원편 여유폭, 소형차 폭의 합으로 구성된다. 이를 수식으로 표현하면 식 3.1과 같다.

$$R_{a2}, R_{b2} = W_l + W_c + W_p \quad \text{식 3.1}$$

여기서,

W_l : 1개 차로의 차로폭

W_c : 차량 원편 여유폭

W_p : 소형차 폭

후방차량(A)이 X_{a2} 지점까지 평균속도 V_{a1} 으로 t_1 시간동안 회전하고, 전방차량(B)이 X_{b2} 지점까지 평균속도 V_{b1} 으로 t_2 시간동안 회전할 때, $t_1 > t_2$ 인 경우(전방차량의 속도가 후방차량에 비해 빠른 경우이거나 후방차량이 전방차량에 비해 늦게 출발하는 경우)에 V_{b1} 의 속도로 유턴을 실시하고 V_{b2} 의 속도로 이동하는 전방차량이 t_1 과 t_2 의 시간차이 $\Delta t (=t_1 - t_2)$ 동안 이동할 수 있는 거리, 즉 X_{b2} 와 X_{b3} 의 거리 H_2 만큼 이격되어 있어야 충돌이 발생하지 않는다. 정리하면, 대향 3차로의 경우 유턴허용구간의 길이는 전방차량(B)의 회전반경과 전방차량(B)의 길이, 전방차량(B)이 유턴을 실시한 후 후방차량(A)와의 거리와 후방차량(A)의 길이의 합으로 나타낼 수 있다. 이를 수식으로 표현하면 식 3.2와 같다.

$$\begin{aligned} L_1 &= l_p + R_{b2} + H_1 \\ &= 2l_p + \Delta t \times V_{b2} + R_{b2} + R_{a2} \times \sin(180^\circ - \theta) \\ &= 2l_p + \left(\frac{R_{a2}}{V_{a1}} - \frac{R_{b2}}{V_{b1}} \right) \times V_{b2} + R_{b2} + R_{a2} \times \sin(180^\circ - \theta) \quad \text{식 3.2} \end{aligned}$$

여기서,

L_1 : 유턴 허용구간의 길이(m)

l_p : 소형차 길이(m)

R_{b2} : 전방차량(B) 회전시 외측궤적(m)

R_{a2} : 후방차량(A) 회전시 외측궤적(m)

V_{b1} : 전방차량(B)이 X_{b2} 지점까지 이동하는 평균속도(km/h)

V_{a1} : 후방차량(A)가 X_{a2} 지점까지 이동하는 평균속도(km/h)

V_{b2} : X_{b2} 지점을 지난 전방차량(B)의 속도(km/h)

θ : 전방차량과 후방차량의 충돌 예상각(°)

3.2.2 유턴 허용구간의 시점 결정 방법론

전방교차로와 유턴 허용구간의 시점까지의 거리를 산출하면 유턴 허용구간의 시점을 결정할 수 있게 된다. 박광원(2009)의 연구에서는 침투시간 교통량을 q_L 이라 하고 차로군이 N_L 차로로 이루어져 있다고 하면 대기행렬이 소멸되는 마지막 차량의 정지선에서부터의 위치를 다음 식 3.3과 같이 표현하였다.

$$L_2 = l_c \times \frac{q_L}{3,600} \times (r_L + t_{0,L}) \times \frac{1}{N_L}$$

$$t_{0,L} = \frac{\left(\frac{q_L}{3,600} \times r_L \right)}{\left(\frac{s_L}{3,600} - g_L \right)} \times \frac{1}{N_L}$$

식 3.3

여기서,

L_2 : 정지선에서 대기행렬 마지막 차량까지의 거리(m)

l_c : 차량길이 + 차간간격(m)

q_L : 좌회전차량의 도착교통량(대/시)

r_L : 좌회전차량의 유효적색신호시간(초)

N_L : 좌회전 차로수

s_L : 좌회전차량의 진행률

g_L : 회전차량의 유효녹색신호시간(초)

4. 개선 방법론의 적용 및 현장조사 결과 비교

4.1 유턴 허용구간의 적정길이 산출

4.1.1 유턴 허용구간의 적정길이 산출 방법론 적용

유턴 허용구간의 적정길이 산출을 위한 산출식에 대입할 입력변수를 결정하여야 한다. 차로폭은 3.0m였으며 소형차 폭과 소형차 길이는 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설의 설계기준자동차 중 소형자동차를 기준으로 하였다. 차량의 평균 속도는 전방차량의 평균속도 V_{b1} 과 후방차량의 평균속도 V_{a1} 은 각각 약 15km/h와 10km/h를 나타내었고, 회전이 완료된 후의 전방차량의 속도 V_{b2} 는 약 20km/h인 것으로 현장 주행결과 측정되었다. 후방차량이 전방차량에 가장 가까이 접근하게 되는 경우의 θ 값은 135° 이므로 $\sin 45^\circ$ 를 적용하면 최대 접근거리를 산정할 수 있게 된다.

Table 4. Determination of the appropriate length of the U-turn section allows the input parameters for the calculation

Input Values		Variable Values
W_l	Lane Width(m)	3.0
W_c	left side clearance width of vehicle (m)	0.5
W_p	Small car width (m)	2.0
l_p	Small car length (m)	6.0
R_{b2}	Ahead Vehicle(B)Lateral trajectory in Turning(m)	5.5
R_{a2}	Rear Vehicle(A) Lateral trajectory in Turning(m)	5.5
V_{b1}	Ahead Vehicle(B) Average moving speed to the point X_{b2} (km/h)	15
V_{a1}	Rear Vehicle(A)가 Average moving speed to the point X_{a2} (km/h)	10
V_{b2}	The speed of the vehicle(B) ahead past the point X_{b2} (km/h)	20
θ	Expectations of the front and rear vehicle collisions each vehicle()	45

식 3.2에 Table 4의 입력변수를 입력하여 계산한 결과 대향차로가 3차로인 경우 도시부 상업지역 내 신호교차로에서 유턴이 허용되어야 하는 길이는 25.85m로 산정되었다.

그러나 소수점이 있는 도출된 결과값을 그대로 설계에 제시할 수는 없다. 왜냐하면 차량의 차두간격은 대당 m의 값으로 주어지고 이를 설계에 반영해야 하므로 적절한 차두간격의 값을 알아야하고, 차량의 대수별 차두간격의 길이를 파악하여 25.85m보다 큰 값을 갖는 차량의 대수에 해당하는 차두간격의 길이를 유턴 허용 길이로 적용하여야 한다. 양재호 등(2013)의 연구에서 도시부 상업지역 소형차의 평균 차두간격을 8m로 제시하고 있으므로, 본 연구에서도 이를 적용하여 유턴차로의 시점 설계에 적용하면 설계시에는 4대를 수용할 수 있는 32m를 적용함이 적합할 것으로 판단된다.

4.1.2 유턴 허용구간의 시점 결정 방법론 적용

유턴허용구간의 시점을 결정하기 위해 대기행렬이 소멸되는 마지막 차량의 교차로에서부터의 위치를 결정하는 산출식에 대입할 입력변수를 결정하여야 한다. 입력변수는 현장조사 자료를 근거로 하였고 해당 자료를 정리하여 Table 5에 제시하였다.

Table 5. Determination of starting point of the U-turn section allows the input parameters for the calculation

Input Values		Variable Values
l_c	Vehicle Length+ Headway(m)	8
q_L	Arrival Left Turn volume (vehicle/hour)	248
r_L	Effective red time in Left Turn vehicle (sec)	130
N_L	Number of Left Turn lane	1~3
s_L	Progress of the left turn vehicle(vehicle/hour/lane)	1,800
g_L	Effective Green time of left turn vehicle(sec)	30

식 3.3에 표 5의 입력변수를 입력하여 계산하면 좌회차로수가 1차로인 경우에는 71.48m, 2차로인 경우에는 35.78m, 3차로인 경우에는 23.86m라는 값을 얻을 수 있다. 이 역시 차두간격 8m를 고려하여 각각 72m, 40m, 24m 이상 이격하여 설치하는 것이 타당하다고 판단된다.

4.2 현장조사 결과 비교

4.2.1 현장조사 값과 도출된 결과값 비교

연구의 결과로 도출된 유턴허용구간의 길이와 시점까지의 거리를 현장조사 값과 비교하여 보았다. 비교 결과를 Table 6에 제시하였다.

Table 6. Comparison of field research value and results

Classification	Intersection	Dowha elementary school	Bu-pyung Station	Gum-Dan
	Length of starting point of U-Turn permitted period (L_1)(m)	Field survey	25	32
	Result	32		
Length of U-Turn permitted period (L_2)(m)	Field survey	8	8	14
	Result	40	24	72

현장조사 값과 도출된 결과값을 비교한 결과 유턴허용구간까지의 거리는 세 교차로 모두 짧은 상태였으며 유턴허용구간의 길이는 도화초교사거리는 짧고, 검단사거리는 긴 상태였다. 이는 유턴차로의 설계에 관한 구체적인 기준이 제시되어있지 않아 발생한 결과로 판단되며, 본 연구의 결과가 이러한 교차로 개선사업 등에 적용될 경우 보다 안전하고 효율적인 교차로 운영이 가능해 질 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후연구

본 연구는 신호교차로에서 유턴차로를 설치하는 명확한 기준을 제시하고자 전방교차로로부터 유턴 허용구간까지의 최소거리와 유턴 허용구간의 적정길이를 산정하여 명확한 유턴차로의 설치기준을 정립하는 것을 목적으로 하였다. 연구의 대상으로 2012년도 인천광역시 도시교통기초조사의 조사대상이 되었던 교차로 60개소 중 인천광역시 도시계획총괄도상의 토지이용계획을 참고하여 상업지역 8개소를 분류하였다. 분류된 교차로 중에서도 유턴을 허용하는 교차로 3개소를 연구의 대상으로 선정하였다. 또한 본 연구에서는 유턴 허용구간의 길이 산출식을 도출하고 산출식에 적용할 변수의 값을 현장조사를 통해 결정한 후 도시부 상업지역 내 유턴 허용구간의 적정길이를 산정하여 설계의 기준으로 제시하고자 하였다.

위의 목적을 달성하고자 유턴차량의 행태를 차로별로 구분하여 조사 분석하고, 유턴 허용구간의 적정길이 산출 방법론과 유턴 허용구간의 시점 결정 방법론을 각각 정립하였다. 그 후 해당 방법론들을 현장조사 결과를 바탕으로 도시부 상업지역 내 신호교차로의 효율적인 좌회전 처리를 위해 유턴허용구간의 적정길이를 산정하고, 전방교차로로부터 유턴 허용구간까지의 최소거리를 산정하여 설계기준을 제시하였다. 연구 결과를 바탕으로 도출된 결론을 종합하여 정리하면 다음과 같다.

1. 도시부 상업지역내 유턴을 허용하는 교차로의 경우, 신호교차로의 효율적인 좌회전 및 유턴 처리를 위한 유턴허용구간의 적정길이는 32m가 적정한 것으로 도출되었다.
2. 유턴허용구간의 시점은 좌회전차로가 1차로인 경우 72m, 2차로인 경우 40m, 3차로인 경우 24m 이상 정지선으로부터 이격하여야 하는 것으로 산출되었다.

현장조사 값과 도출된 결과값을 비교한 결과 유턴허용구간까지의 거리는 분석의 대상이 되었던 세 교차로 모두 짧은 상태였으며 유턴허용구간의 길이는 도화초교사거리는 짧고, 검단사거리는 긴 상태였다. 이는 유턴차로의 설계에 관한 구체적인 기준이 제시되어있지 않아 발생한 결과로 판단되며, 본 연구의 결과가 이러한 교차로 개선사업 등에 적용될 경우 보다 안전하고 효율적인 교차로 운영이 가능해 질 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 결과를 설계시 반영한다면 현재의 도시부 상업지역 내 신호교차로의 좌회전 및 유턴을 보다 효율적으로 처리할 수 있을 것이며, 추가적으로 설계 반영을 위한 법적 절차의 이행 및 실행을 위한 제도화 방안에 관한 연구도 병행되어야 할 것이고, 주변 여건 등 외부적인 요인으로 인해 본 연구의 결과를 적용할 수 없는 경우에는 전·후 교차로에서 유턴을 허용해 주는 등의 추가적인 운영방안 검토가 필요할 것이다.

감사의 글

이 논문은 인천대학교 2015년도 자체연구비 지원에 의하여 연구 되었음.

References

- Incheon Metropolitan City,(2009),"Incheon MetropolitanCity Planningalsooversees"
 Incheon Metropolitan City,(2012),"2012urban transportbasics investigation"
 Incheon Metropolitan City, IncheonMetropolitan Police Agency,(2013),"2012central and local traffic signaling equipment operating data(Article1)."

- Incheon Metropolitan City, Incheon Metropolitan Police Agency, (2013), "2012 Traffic Signal Central and local device operating system resources (Article 2)". "
- Do, C. H. (2005), "Traffic Engineering Principles (above) revision of Article 2", p.76
- Korean Society of Civil Engineers, (2009), "Commentary on the structure facilities standard rules of the road", pp.46-53.
- Police, (2012), "Traffic pavement marking Installation Management Manual", pp.35-37.
- Lim, S. J., Park. J. T., (2013), Development of Traffic Accident Models in Seoul Considering Land Use Characteristics, Journal of the Korea Society of Disaster information Vol.9 No.1 pp.33-49
- Lee, J. H., Park, J. J., Ha, T. J., (2008), "A Study on the U-Turn location and fair estimate of the acceptable range in length signalized intersections", Journal of Transportation Article 26 No. 1.
- Park, K. W., (2009), "Study on urban signalized intersections U-Turn allowed sections design standards", Chonnam National University doctoral thesis
- Oh, Y. P., Lee, Y. B., (2004), "Study on the Properties and building proper traffic signal timing models of U-Turn", scheduled for Land and Urban Planning Institute Conference. pp.585-596.
- Yang, J. H., Choe, U. J., Park, H. W., (2013), "Research on the Optimal inner-city commercial areas waiting car length calculated considering the distribution characteristics of my arrivals signalized intersection, turn left", Institute for Transportation Conference
- Daniel L. Carter, (2004), "Operational and Safety Impacts of U-Turns at Signalized Intersections.", North Carolina State University.
- Naver Map map.naver.com
- Incheon Traffic Information Center www.fitic.go.kr