

# 차로 수준의 동적위치참조 방법 개발

## Development of Lane-level Dynamic Location Referencing Method

양인철\* · 전우훈\*\*

\* 주저자 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 도로관리통합센터

\*\* 교신저자 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 도로관리통합센터

Inchul Yang\* · Woo Hoon Jeon\*\*

\* Integrated Road Management Center, Dept. of Infrastructure Safety Research, KICT

\*\* Integrated Road Management Center, Dept. of Infrastructure Safety Research, KICT

† Corresponding author : Woo Hoon Jeon, cwmoon@kict.re.kr

Vol.17 No.5(2018)

October, 2018

pp.188~199

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

<https://doi.org/10.12815/kits.2018.17.5.188>

2018.17.5.188

Received 21 September 2018

Revised 10 October 2018

Accepted 22 October 2018

© 2018. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

### 요약

자율협력주행과 C-ITS의 핵심은 통신을 통한 정보의 교환이다. 이를 위해 반드시 요구되는 것이 위치 정보를 교환하는 기술인데, 현재까지 미래 교통수단에서 요구되는 차로 수준의 정확도를 갖는 위치정보 교환 방법에 대한 연구는 미진한 실정이다. 이에 본 연구에서는 차로 수준의 정확도를 가지면서 동시에 빠르게 도로 시설물 또는 이벤트의 위치 정보를 교환할 수 있는 방법인 동적위치참조방법을 개발하였다. 이를 위해 관련 용어를 정의하고 기술에 요구되는 전제조건을 제시하였다. 또한 기술에 필요한 데이터의 논리적 포맷과 물리적 포맷을 설계하고, 데이터의 효율적인 처리를 위한 인코딩과 디코딩 알고리즘을 개발하였다. 개발된 기술의 성능을 검증하기 위해 두 개의 서로 다른 정밀전자지도를 구축하고, 검증용 소프트웨어 프로그램을 이용하여 정확도, 소요시간, 데이터 크기 측면에서 성능을 검토하였다. 그 결과, 제안된 기술은 정확도 측면에서 매우 우수한 것으로 확인되었다. 소요시간과 데이터 크기 측면에서는 다소 성능이 저하되는 것으로 확인되었으나 이는 향후 하드웨어와 ICT 기술의 발전으로 보완 가능할 것으로 판단된다.

핵심어 : 위치참조, 동적위치참조, 차로 수준, 자율협력주행, 차세대 ITS

### ABSTRACT

In this study a novel dynamic lane-level location referencing method(LLRM) was developed. The terminologies were defined and the prerequisites were suggested for the LLRM. Then, the logical and physical data formats were proposed, followed by the development of encoding and decoding algorithms. To conduct a performance test of the proposed method, two different high precision digital maps were prepared as well as an evaluation tool. The test results demonstrated that the proposed method works perfectly in terms of accuracy. The processing speed and the data size were found to be less efficient, but it is expected that the defect would be compensated soon enough due to the fast growing technology of ICT and computer hardwares.

Key words : Location referencing, Dynamic location referencing method, Lane-level, Automated and cooperative driving, Cooperative intelligent transport systems

## I. 서론

자율협력주행과 C-ITS는 모두 통신을 통해 필요한 정보를 주고받는다. 일반적인 차량의 제동 능력과 사고 예방을 고려할 때 도로 공사(Work zone), 교통사고, 고장 차량, 낙하물, 혼잡 행렬 끝 지점, 포트홀 등의 정보는 수 km 이전에 전달되는 것이 회피 거동을 위해 안전하기 때문에 V2X 통신으로 빠르고 정확하게 위치와 상태 정보를 전달하는 것이 중요하다(Yang *et al.*, 2017).

도로의 시설물 또는 이벤트의 위치와 상태 정보를 교환하는 기술은 새로운 것이 아니다. 이미 90년대부터 여러 ITS 주체(단말기, 센터, 노변장치 등) 간의 위치 자료(data)를 교환하는 방법을 위치참조방법(Location Referencing Method, LRM)이라 정의하고 이를 위한 다양한 기술이 제안되고 개발 및 적용되어 왔다. 우리나라에서 이용 중인 ITS표준노드링크가 대표적인 예이다. 도로 소통 정보를 교환하기 위해 표준ITS노드링크라는 매개 DB를 구축하고, 이 매개 DB를 이용하여 다양한 ITS 주체 간에 도로 소통 정보를 교환하고 있다.

하지만 자율협력주행과 C-ITS 같은 미래 교통수단은 표준ITS노드링크가 지원하는 ‘도로’ 수준의 정확도보다 훨씬 정확한 ‘차로’ 수준의 정보를 요구한다. 기존 방식이 어느 도로에 이벤트가 발생했느냐는 질문에 대한 답을 준다면, 새로운 방식은 어느 차로, 그리고 더 나아가 차로 내 어디쯤에 이벤트가 발생했느냐는 질문에 대한 답을 줄 수 있어야 한다. 예를 들어 고속도로 상에 발생한 포트홀(pothole)에 대한 위치를 텍스트(text)로 설명할 경우, ‘도로’ 수준에서는 “경부고속도로 부산 방향 284km 지점”과 같이 위치를 참조하는 반면, ‘차로’ 수준에서는 “경부고속도로 부산 방향 284km 지점” 도로의 “3차로 내 횡방향으로 차로중심선으로부터 좌측으로 30cm, 종방향으로 284.5km으로부터 50cm”와 같이 위치를 참조한다. 본 연구에서는 이 두 가지 방식의 위치 참조방법을 구분하기 위해 기존 방식을 도로 수준 위치참조방법(Road-level Location Referencing Method, RLRM), 그리고 차로 수준의 정확도를 갖는 위치참조 기술을 차로 수준 위치참조방법(Lane-level Location Referencing Method, LLRM)이라 부르기로 한다.

도로 수준 위치참조방법은 유럽을 중심으로 많은 연구개발이 진행되어 왔으나, 차로 수준 위치참조방법은 이제 막 시작 단계에 있다. 이에 본 연구에서는 차로 수준의 정확도를 가지는 동시에 빠르게 도로 시설물 또는 이벤트의 위치와 상태 정보를 교환할 수 있는 방법인 차로수준 동적위치참조 방법을 개발한다. 여기서 ‘동적’이란 용어가 사용된 이유는 표준ITS노드링크와 같이 중간의 매개 DB가 불필요한 방식이기 때문으로, 다음 장인 문헌고찰에서 자세하게 설명하기로 한다.

## II. 문헌고찰

위치참조방법은 이종(異種)<sup>1)</sup> 전자지도를 갖는 ITS주체 간 위치 정보를 교환하는 방법으로, 내가 있는 위치는 어디일까, 가장 가까운 레스토랑은 어디일까, 사고가 발생한 위치는 어디일까와 같은 질문에 대한 구조화된(structured) 답변을 제공하는 방법이다. 국제표준(ISO, 2015a)에서는 위치참조(Location reference)를 하나의 지리적 객체에 대한 고유한 식별자로 정의하며, 두 가지 방식의 위치참조방법에 대해 기술하고 있다. 첫 번째 방법은 정적위치참조(pre-coded location references)이고, 두 번째 방법은 동적위치참조(dynamic location references)이다.

정적위치참조는 매개 DB를 통해 위치 정보를 교환하는 방식으로, 대표적인 방법으로는 우리나라의 표준 ITS노드링크와 일본의 VICS, 유럽의 ALERT-C등이 있다(ISO, 2015b). 이러한 방식은 모두 도로망을 링크로

1) 동일한 전자지도를 갖는 ITS 주체 간에는 링크/노드 ID를 이용해서 간단하게 정보 교환이 가능하기 때문에 별도의 위치참조방법이 필요하지 않다.

분할하고 개별 링크에 고유 식별자를 부여한 매개 DB를 이용하여 각종 링크 관련 정보를 교환한다. 이는 전송되는 데이터의 크기가 작고 비교적 정확히 위치 정보를 해석할 수 있는 반면, 매개 DB의 작성과 갱신에 요구되는 시간과 비용이 매우 크고, 또한 정보를 교환하는 ITS 주체가 모두 최신의 매개 DB를 보유한 경우에만 정보 교환이 가능한 단점을 갖는다.

동적위치참조는 위치 정보를 정해진 코딩 계획(scheme)에 따라 인코딩(encoding)하여 정보를 전달하고, 이를 수신한 ITS 주체에서 다시 디코딩(decoding)하여 전자지도에 위치를 해석(translate)하는 방식으로, 대표적인 방법으로는 AGORA-C와 OpenLR이 있다(ISO, 2015c; ISO, 2017). 이는 정적위치참조에서 필수인 매개 DB가 불필요하기 때문에 이의 갱신 및 관리에 대한 시간과 비용이 불필요하고 매개 DB를 갖지 않는 ITS 주체 간에 정보 교환이 가능한 장점을 갖는다. 하지만 위치 정보를 정해진 코딩 계획에 따라 인코딩하고 디코딩하기 때문에 정적위치참조 방법에 비해 어려움이 높고, 또한 전송되는 데이터의 크기도 증가한다.

유럽에서는 1984년에 교통 관련 정보를 제공할 수 있는 TMC(Traffic Message Channel)을 개발하였으나 데이터 크기의 한계로 인해 서비스 영역이 제한적이었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 SOCRATES 2 project를 통해 링크 ID를 이용한 정적위치참조방법을 개발하였으나 이종 전자지도 간의 정보 교환이 어려운 문제로 인해 대중적으로 활용되지 못했다. 이후 ITS Europe의 위치참조 위원회에서는 ILOC과 확장 ILOC이라는 동적위치참조방법을 차례로 개발하였다(Duckeck *et al.*, 1998; Pandazis, 1999). ILOC과 확장 ILOC은 어려움이 20% 수준이었기 때문에 이를 개선하기 위해 AGORA project를 수행하였고, AGORA와 AGORA-C를 최종적으로 개발하였는데, 이 방법의 어려움은 2% 미만인 것으로 나타났다(Wevers and Hendrks, 2006; Schneebauer and Wartenberg, 2007; Hiestermann, 2008). 이후 AGORA-C는 ISO 국제표준으로 제정되었으나(ISO, 2015c) 표준특허이기 때문에 상업적 용도로 사용 시에는 라이선스 비용이 요구된다.

그리고 Vonderohe *et al.*(1997)은 미국의 주교통국(State Dept. of Transportation)에서 GIS(Geographic Information Systems)를 적용함에 따라 모든 객체가 선형 참조(linearly referenced)<sup>2)</sup>될 필요가 있다는 점을 언급하며, 그에 적절한 일반적인 데이터 모형(generic data model)을 제안하였다. 또한 Koncz and Adams(2002)은 3차원 공간에 시간 차원까지 고려한 GIS-T(GIS for Transportation)용 위치참조를 위한 다차원 교통 데이터 모형을 제안하였다. Scarponcini(2002)는 도로 또는 하천과 같이 선형을 갖는 객체에 대한 선형 참조(linear referencing)를 위한 일반화된 모형을 제안하였고, Hendriks and Wevers(2007)은 ITS 시스템에서 위치참조를 위한 객체의 추상화(abstraction) 과정에서 발생할 수 있는 문제와 그 영향에 대해 기술하였다.

이상과 같이 위치참조방법과 관련된 문헌을 고찰하였는데, 기존의 방법들은 모두 도로 수준의 위치 정보를 교환하는 것이기 때문에 자율협력주행과 C-ITS에서 요구하는 차로 수준의 위치 정보를 교환하기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 차로 수준의 동적위치참조방법을 개발한다.

### III. 차로 수준의 동적위치참조 방법 개발

본 장에서는 차로 수준 동적위치참조 방법(LLRM)의 개발에 대해 기술한다. 이를 위해 우선 용어를 정의하고 기술에 요구되는 전제조건을 제시한다. 다음으로 LLRM에서 사용되는 논리적 데이터 포맷과 물리적 데이터 포맷 설계에 대해 설명하고, 마지막으로 인코딩과 디코딩 알고리즘에 대해 기술한다.

2) 선형참조는 선(line)을 따라 위치를 참조하는 위치참조의 한 분야로, 도로를 따라 설치된 거리표(Kilopost or Milepost)가 대표적인 선형참조법의 사례이다.

## 1. 용어 및 전제조건

본 연구에서는 위치 정보를 보내는 ITS 주체를 송신자(sender), 그리고 위치 정보를 받는 ITS 주체를 수신자(receiver)라고 정의한다. 그리고 위치참조 기술에서 사용되는 지리적 좌표의 기준이 되는 시설물 또는 특정 지점을 참조점(reference point)이라고 정의한다.

LLRM은 연속류 도로의 본선구간을 대상으로 하며, 위치의 형태는 점, 선, 면으로 구분된다. 점형 위치는 한 위치에 존재하는 것으로 정의될 수 있으며, 여기에는 관심지점(Point of Interests), 공공서비스시설, 상업시설 등이 포함된다. 선형 위치는 두 개의 점을 연결하는 직선으로 표현되는 선형 객체이다. 면형 위치는 세 개 이상의 선형 위치를 경계선으로 갖는 객체를 나타낸다.

또한 LLRM을 통해 교환되는 객체의 수집된 위치와 실제 위치 간 오차는 허용 오차<sup>3)</sup>를 넘지 않아야 하는데, 예를 들어, 송신자가 실시간으로 수집된 낙하물 정보를 수신자에게 보낼 경우 해당 낙하물의 수집된 위치는 실제 도로 상의 위치로부터 허용 오차 내에 존재함을 가정한다. “Garbage in, Garbage out”과 같이 LLRM은 잘못된 위치 정보를 수정할 수 있는 방법을 제공하지는 않기 때문이다.

그리고 LLRM에서 사용되는 전자도로지도는 노드와 링크로 구성된다. 링크는 실제 도로 또는 그 일부를 나타내며 실제 도로의 선형 정보를 갖는다. 이는 링크가 추상화된 선형 정보 대신 실제 선형 정보, 즉 허용 오차 내의 정확도를 갖는 선형 정보를 갖는 것을 의미한다. 또한 하나의 링크는 하나의 차로 수 정보를 갖는다. 즉, 링크 중간에 차로 수가 상이한 부분은 존재하지 않는다. 그리고 모든 링크는 방향성을 갖다. 방향성이란 차량이 주행하는 방향에 대한 정보를 의미하며, 이를 기반으로 차로 번호가 유효한 의미를 갖는다. 전자도로지도는 도로중심선과 차로중심선, 차선 정보를 가지며, 이에 대한 자세한 조건은 Yang and Jeon(2018)이 제시한 정밀전자도로지도 개념모형을 따른다. 노드는 도로교차점 또는 도로의 일부를 나타내며 링크 간 연결점 역할을 한다.

끝으로, LLRM은 지리적인 좌표에 온전히 의지하지 않는다. 즉 지각 변동 등으로 인해 실세계 위치가 변경되었을 경우에도 정확한 위치를 참조할 수 있어야 한다. 예를 들어, 어떤 도로 구간의 시작점으로부터 153m 지점 2차로 위에 위치한 표지판을 위치참조 한다면, 지진이 발생하여 지각이 움직여서 좌표는 바뀌더라도 해당 표지판이 2차로 위에 존재하고 있으므로 해석이 가능하다.

## 2. 논리적/물리적 데이터 포맷 (Logical and Physical Data Format)

차로 수준 위치참조방법의 논리 데이터 포맷은 <Fig. 1>에서 볼 수 있듯이 크게 세 가지 요소(components)로 구성되는데, 이는 기본 정보(Basic Data), 시작점 정보(Start Point Data), 그리고 연결점 정보(Points Data)이다. 기본 정보는 대상 객체의 위치 유형과 객체가 위치하는 대상 도로, 그리고 위치를 특정하기 위해 필요한 참조점의 정보를 갖는다. 시작점 정보는 도로중심선 기준으로 시작점과 참조점 간의 거리와 연결점 개수를, 그리고 연결점 정보는 도로중심선 기준으로 각 연결점과 참조점 간의 거리에 대한 정보를 갖는다.

기본 정보에서 객체 유형(Location Type)은 점(point), 선(line), 면(polygon)의 세 가지로 구분된다. 점형 위치는 낙하물, 사고, 정지차량, 혼잡 끝짐 등을 표현할 수 있다. 선형 위치는 대형 사고, 정지된 대형차량, 소통 정보 등의 이벤트를, 끝으로 면형 위치는 공사구간, 기상정보 등을 나타낸다.

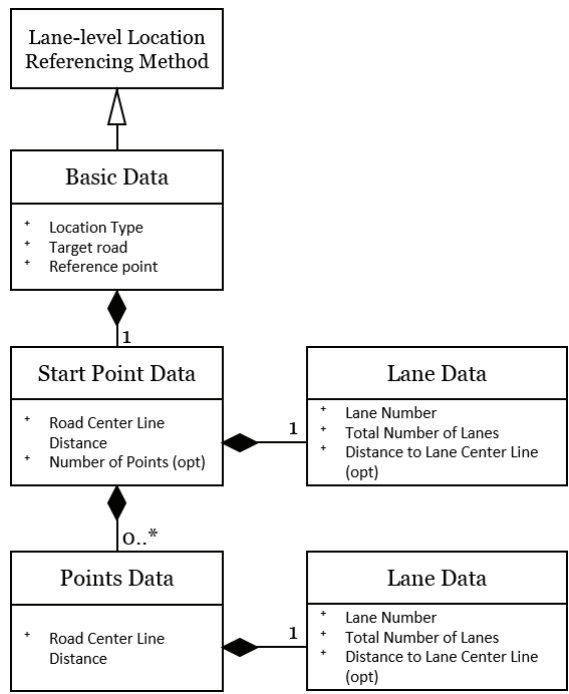
대상 도로(Target road)는 해당 위치 객체(또는 이벤트)가 발생한 도로를 나타낸다. 이는 기존에 도로 수준의 위치참조방법<sup>4)</sup>을 통해 정보 교환(encoding/decoding)이 가능하다.

3) 본 연구에서는 허용오차를 25cm로 한다.

참조점(reference point)은 위치참조 기술에서 사용되는 지리적 좌표의 기준이 되는 시설물의 위치 또는 특정 지점을 의미한다. 차로 수준 위치참조방법(LLRM)에서 모든 객체의 위치 좌표는 참조점으로부터의 상대 좌표로 결정된다. 송신자와 수신자가 모두 동일한 버전의 참조점 데이터베이스를 유지하여야 하며, 각 참조점은 고유한 번호를 부여 받는다.

도로를 이용하는 동적 객체, 즉 차량, 보행자, 자전거 등의 객체 위치는 끊임없이 변한다. 또한 정적인 속성을 갖는 도로와 그 부속물도 선형개량, 위치 변경, 산사태, 차선 도색, 재포장, 날씨, 지진 등으로 인해 위치가 변경된다. 이렇게 변경된 객체의 위치는 LDM(Local Dynamic Map; Yang *et al.*, 2017)과 같은 동적지도에 반영이 되어 도로이용자에게 전달이 되어야 하는데, 모든 변경 정보를 조사하여 갱신하는 것은 시간과 인력, 비용 측면에서 많은 자원을 필요로 한다. 특히 지진과 같이 대규모 지각 변동이 발생할 경우 모든 객체의 위치를 새롭게 갱신하는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 따라서 소규모의 참조 가능한 지점을 절대참조점으로 설정하고 다른 객체의 위치를 절대참조점으로부터의 상대 위치로 정의하는 것이 필요하다. 이와 관련하여 측량 분야에서는 오래 전부터 국가에서 기준점을 관리해 오고 있다. 큰 변화가 있을 경우 몇 개의 기준점을 신속하게 갱신하고, 나머지는 이러한 기준점으로부터 상대적인 값으로 위치를 정의하는 것이다. 본 연구에서 제안하는 LLRM은 이러한 개념에서 참조점(reference point)을 활용하는 것으로, 도로 상의 랜드마크를 참조점으로 하는 것을 제안한다.

기본 정보는 반드시 한 개의 시작점 정보를 갖는데, 시작점 정보는 모든 유형의 위치 표현을 위한 시작점 정보를 제공한다. 점 유형일 경우 시작점 정보 한 개가 해당 객체의 위치를 표현하고, 선 또는 면 유형일 경우 시작점 정보는 해당 위치의 시작이 되는 위치 정보를 제공한다.



<Fig. 1> Logical data format of LLRM

4) OpenLR, ARORA-C등의 도로 수준 위치참조방법

시작점 정보는 도로중심선 거리와 연결점 개수를 속성으로 갖는다. 도로중심선 거리는 도로중심선을 기준으로 참조점과 시작점 간의 거리를 의미한다. 참조점으로부터 도로중심선에 수선을 내릴 때 발생하는 수선의 발을 A라 하고, 마찬가지로 시작점으로부터 도로중심선에 내린 수선의 발을 B라고 하자. 그러면 도로중심선을 따라 점 A로부터 점 B까지의 거리를 구할 수 있게 되며, 이때 계산된 거리를 도로중심선 거리라 한다. 만약 도로중심선이 존재하지 않는다면 가장 안쪽 차로의 차로중심선을 대신 이용할 수 있다.

연결점 개수는 optional한 값이다. 객체 유형이 점일 경우 연결점 개수 정보는 존재하지 않고, 선 또는 면일 경우 형태를 나타내는 점의 개수만큼의 값을 갖는다.

시작점 정보는 반드시 한 개의 차로 정보를 갖는다. 차로 정보는 차로 번호, 총 차로 수, 차로중심선과의 거리로 구성된다. 차로 번호는 시작점이 위치하는 차로의 번호를 의미하며, 차로 번호는 국내 차로 번호 부여 방법을 따라 부여된 값을 의미한다. 총 차로 수는 객체가 위치한 도로구간에 존재하는 총 차로의 개수를 나타낸다. 차로중심선과의 거리는 optional한 값으로, 두 가지 형태를 갖는다. 차로중심선과의 거리는 객체와 객체가 위치한 차로의 중심선 간의 최단거리를 의미한다. 객체가 유효 차로 내에 존재하지 않을 경우, 즉 중앙분리대 또는 갓길, 차도가 아닌 도로부지 내에 존재할 경우 차로는 객체와 가장 가까운 차로를 선택한다. 이때 객체가 차로중심선을 기준으로 안쪽에 존재할 경우 음의 값을, 바깥쪽에 존재할 경우 양의 값을 갖는다. 참고로 안쪽과 바깥쪽은 주행방향을 기준으로 각각 좌측과 우측을 의미한다.

물리적 데이터 포맷은 논리적 데이터 포맷을 근간으로 실제 구현 시 어떻게 데이터 구조를 설계해야 하는지에 대한 대안을 제시한다. 본 연구에서는 Protocol Buffers<sup>5)</sup>를 이용해서 <Fig. 2>와 같이 물리적 데이터 포맷을 설계하였다.

```

syntax = "proto2";
message LaneLDM {
  enum ObjectType {
    POINT = 0;
    POLYLINE = 1;
    POLYGON = 2;
  }
  message LaneInfo {
    required int32 lane_no = 1;
    required int32 total_lane2 = 2;
    optional sint32 dist_from_lane_center1 = 3;
  }
  optional ObjectType obj_type = 1 [default = POINT];
  required int32 target_road_id = 2;
  required int32 reference_point_id = 3;
  required int32 dist_a1 = 4;
  optional int32 point_count = 5 [default = 1];
  required LaneInfo li_p1 = 6;
  repeated int32 dist_a = 7;
  repeated LaneInfo li_p = 8;
}
    
```

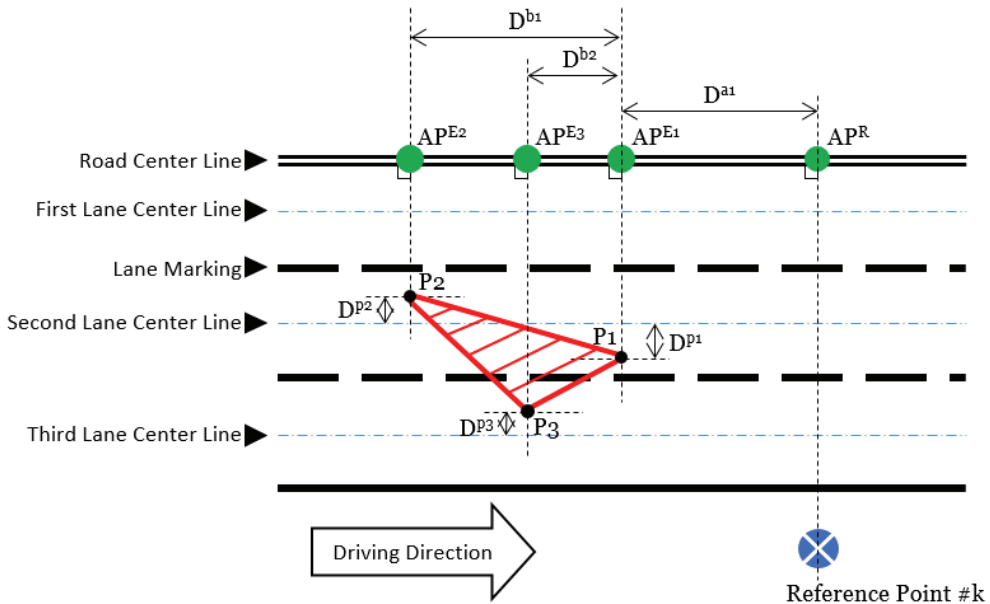
<Fig. 2> Physical data format using Protocol Buffers

5) Protocol Buffers는 구글(google)에서 개발한 데이터 직렬화(Serialization) 프로그램이다. 어플리케이션 프로그램에서 처리한 데이터를 쉽고 빠르게 용량의 파일로 저장하거나 또는 네트워크 통신을 위한 데이터 스트림으로 변경(encoding)하는 기능을 제공한다. 물론 저장된 파일 또는 수신된 데이터 스트림을 해석(decoding)하는 기능도 함께 제공한다.



### 3. 인코딩(Encoding)과 디코딩(Decoding) 알고리즘 개발

위치참조방법에서 송신자는 대상 객체의 위치 정보에 속성 정보를 추가하여 위치 정보의 정확도를 높인다. LLRM 방법은 절대위치값을 갖는 참조점과 도로중심선과의 거리, 차로중심선과의 거리 등의 정보를 이용하여 차로 수준의 위치를 참조할 수 있다. 위치참조방법은 이러한 정보를 어떻게 찾아내고 활용 또는 해석하는지에 따라 그 효율성이 결정되며, 이때 정보를 효율적으로 찾고 저장하는 일련의 작업을 인코딩 알고리즘이라고 한다. 그리고 인코딩된 데이터를 해석하여 정보를 추출하고 이를 활용해서 정확한 위치 정보를 찾아내는 작업을 디코딩 알고리즘이라고 한다. 그리고 이 둘을 한꺼번에 지칭할 경우 코딩 알고리즘이라는 표현을 사용한다.



<Fig. 3> Concept of encoding and decoding algorithm

코딩 알고리즘의 개념은 <Fig. 3>과 같다. 3개의 점, P1, P2, P3로 구성된 영역(area) 이벤트를 코딩하기 위해 도로중심선(또는 1차로 중심선)과의 거리, 참조점과의 거리, 차로중심선과의 거리를 활용하여 개별 점에 대한 상대적인 위치를 결정한다. 여기서 중요한 점은 절대적인 위치는 참조점에 의해서만 제공되고 다른 점들의 위치는 모두 상대적인 위치라는 것이다. 따라서 참조점의 위치만 정확하게 유지·관리하게 되면 어떠한 위치라도 정확하게 참조할 수 있게 된다.

송신자 측에서 수행되는 인코딩(encoding)은 다음과 같은 절차에 따라 수행된다.

- ① 객체에서 가까운 참조점(RP<sup>#k</sup>)을 찾는다. 이때 참조점은 도로 주행방향으로 앞쪽에 위치한 참조점을 우선으로 한다.
- ② 객체를 구성하는 점 중 참조점과 가장 가까운 점을 첫 번째 점으로 지정한다. (<Fig. 3>의 점 P1)
  - \* 첫 번째 점을 제외한 나머지 점의 순서는 임의로 지정하되 면의 경우 연속성을 유지하여 형태를 훼손하지 않도록 해야 한다.

- ③ 첫 번째 점과 이를 포함하는 차로( $L^1$ )의 차로중심선 간에 가장 가까운 거리( $D^1$ )를 계산한다.
- ④ 첫 번째 점으로부터 도로중심선에 수선을 내려 수선의 발( $AP^{E1}$ )을 찾는다.
- ⑤ 참조점( $RP^{#k}$ )으로부터 도로중심선에 수선을 내려 수선의 발( $AP^R$ )을 찾는다.
- ⑥  $AP^R$ 과  $AP^{E1}$  간의 거리( $D^{01}$ )를 계산한다.
- ⑦ 다른 점들에 대해서도 첫 번째 점과 동일한 절차(③~⑥)를 통해 도로중심선 기준의 거리를 계산한다. 단, 이때는  $AP^R$ 이 아닌  $AP^{E1}$  과의 거리( $D^{b*}$ )를 계산한다.
- ⑧ <Fig. 2>에 정의된 물리적 데이터 포맷에 따라 값을 저장한다.

수신자 측에서 수행되는 디코딩(decoding)은 다음과 같은 절차에 따라 수행된다.

- ① 참조점( $RP^{#k}$ )으로부터 도로중심선에 수선을 내려 수선의 발( $AP^R$ )을 찾는다.
- ② 도로중심선 거리( $D^1$ )값과 도로중심선 선형을 이용해서 점  $AP^{E1}$  을 찾는다.
- ③ 점  $AP^{E1}$  로부터 차로번호( $L^1$ )에 해당하는 차로중심선에 수선의 발을 내린 후 차로중심선과의 거리( $D^1$ )을 이용해서 첫 번째 점의 위치를 찾는다.
- ④ 마찬가지로  $AP^{E*}$ ,  $D^{b*}$ ,  $L^*$ ,  $D^{p*}$  를 이용해서 다른 점들의 위치를 찾는다.

## IV. 성능 검증

본 장에서는 앞서 개발된 차로 수준의 위치참조방법(LLRM)의 성능을 검증한다. 두 개의 서로 다른 지도 정밀전자지도를 갖는 디바이스 간에 정보를 교환하는 시나리오를 가정하고, 송신자에서 보낸 객체 위치 정보를 수신자에서 얼마나 정확하게 해석하는지를 점검한다. 성능 검증은 좌표만을 이용하는 좌표 기반 동적 위치참조방법(Simple Coordinate Method, SCM)과의 비교를 통해 수행한다. LLRM 성능 평가를 위한 틀은 Yang and Jeon(2018)에서 개발한 프레임워크 기반의 소프트웨어 프로그램을 이용하였다.

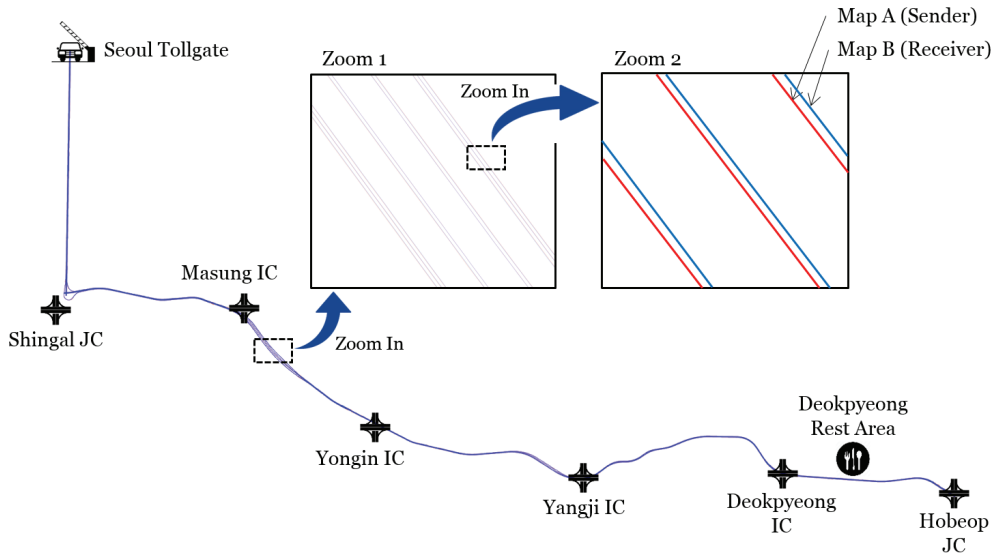
### 1. 정밀전자지도 구축 및 비교

성능 검증을 위해 정밀전자지도는 두 세트를 준비하였다. 첫 번째 정밀전자지도는 LDM(Local Dynamic Map; Yang *et al.*, 2017) 구현을 위해 제작된 것이고, 두 번째 정밀전자지도는 본 연구를 위해 별도로 구축한 정밀전자지도이다. 설명의 편의를 위해 전자를 지도A(Map A), 후자를 지도B(Map B)라고 한다. 대상 구간은 경부고속도로(서울톨게이트~신갈JC)와 영동고속도로(신갈JC~호법JC)이다.

지도A와 지도B의 내용을 비교하기 위해 두 개의 지도를 중첩(overlay)하였고, 그 결과는 <Fig. 4>와 같다. 전체적인 선형을 비교하면 두 개의 지도가 동일한 것처럼 보인다. 하지만 지도를 확대하면 그 결과는 달라진다. <Fig. 4>의 상단에는 마성IC~용인IC 구간을 확대한 두 개의 그림을 보여주고 있는데, 첫 번째 확대 그림(Zoom 1)은 여전히 두 개의 지도 선형에 차이가 없어 보인다. 하지만 이를 한 번 더 확대하면 Zoom 2와 같이 두 개 지도의 차로중심선 선형 간에 차이가 있음을 알 수 있다. 두 개 지도의 차로중심선 간 차이는 대략 25~35cm 수준으로, 정밀전자지도의 위치 오차가 25cm 미만임을 고려할 때 충분히 발생 가능한 크기라고 할 수 있다.



## 2. 성능 검증



<Fig. 4> The overlaid map of Map A and Map B

송신 측 디바이스는 지도A를, 수신 측 디바이스는 지도B를 갖는 것으로 가정하였다. 송신자가 도로 상에 위치한 다수 개의 임의 이벤트를 인코딩하여 수신자에게 보내고, 수신자는 수신된 데이터를 디코딩하여 지도B에서 해당 위치를 찾는다. 단순 위치 좌표 전송 방법(Simple Coordinate Method; SCM)으로 정보를 교환하는 방법과 차로 수준 위치참조 방법(LLRM)을 이용한 방법으로 수행한 결과를 비교하여 성능을 검증하였다. 그리고 참조점은 고속도로에 설치된 거리표를 활용하였다.

성능은 세 가지 측면에서 검증하였는데, 첫 번째는 정확도, 두 번째는 소요 시간, 그리고 마지막은 데이터 크기이다. 정확도는 지도A에서의 객체 위치와 디코딩되어 지도B에서 찾아진 위치 간의 차이, 즉 차로 번호와 차로 중심선으로부터의 거리(cm)의 차이이다. 소요 시간은 인코딩 시작 시각부터 디코딩 완료 시각까지의 시간 차이(단위: msec), 데이터 크기는 전송되는 데이터의 크기 차이(단위: byte)이다.

<Table 1> Performance test results (Accuracy)

Classification	LLRM	SCM
Success	100	81
Fail	0	19
Total	100	100

100개의 임의 이벤트에 대한 성능 검증 결과는 <Table 1>과 같다. 100개의 이벤트를 LLRM 방법으로 인코딩/디코딩한 결과 모두 정확한 위치를 찾아 100% 성공률을 확인하였고, SCM의 경우 81개의 이벤트에 대

- 6) SCM은 위치 좌표로부터 가장 가까운 차로중심선을 찾는 시간을 인코딩/디코딩 시간으로 하였다.
- 7) 제안된 L-LLRM 방법은 연속류 도로의 분선 구간을 대상으로 하기 때문에 임의의 이벤트는 분선 구간에서만 발생하도록 하였다.

해 성공(성공률 81%)하였다. SCM의 실패 경우를 살펴보면 모두 차로 번호가 상이하게 나타난 것으로 확인되었다. 차선 부근에서 발생한 이벤트가 위치만을 전달할 경우 두 개의 정밀전자지도 간 차선 선형 오차로 인해 차로가 바뀌는 문제가 있음을 확인할 수 있는 결과이다.

SCM의 경우 차로 번호가 동일하더라도 차로중심선까지의 거리에서 차이를 보이고 있는데, 그 차이의 평균은 약 0.108(m)로 나타났다. 가장 적은 차이를 보이는 경우는 0.001(m)이나 가장 많은 차이를 보이는 경우는 0.376(m)로 나타나 실제 차로 상의 이벤트의 위치를 차량이 혼동할 가능성이 있을 것으로 판단된다.

다음으로 소요 시간을 확인하였는데, 그 결과는 <Table 2>와 같다. 100개의 이벤트를 인코딩/디코딩하는데 소요되는 총 시간은 LLRM의 경우 평균 66.32(msec)이고, SCM은 59.43(msec)으로 나타나, 예상한 바와 같이 보다 많은 양의 작업을 필요로 하는 LLRM이 SCM에 비해 느린 처리 속도를 보였다. 그러나 그 차이가 고작 수 msec 수준이기 때문에 실제 활용에 있어서 크게 문제되지 않을 것으로 판단된다.

LLRM 방법의 인코딩과 디코딩 시간을 각각 나누어 살펴보면, 인코딩에는 평균 38.4(msec), 디코딩에는 평균 27.92(msec)가 소요되는 것으로 나타나, 디코딩에 비해 인코딩에 시간이 조금 더 소요되는 것으로 확인되었다. 이는 인코딩 시에는 가까운 참조점을 찾는 작업에서 더 많은 시간이 소요되기 때문인 것으로 판단된다.

<Table 2> Performance test results (Encoding/decoding time in msec)

Type	LLRM			SCM
	Encoding	Decoding	Total	
Mean	38.400	27.920	66.320	59.430
Std. Dev.	0.078	0.065	0.100	0.069
Min.	0.310	0.150	0.460	0.460
Max.	0.470	0.320	0.790	0.780

마지막으로 통신 비용에 큰 영향을 주는 데이터 크기를 비교하였는데, SCM의 경우 좌표만을 전달하기 때문에 고정적으로 8바이트가 발생한 반면, LLRM은 평균 19.6바이트가 소요되는 것으로 확인되었다. 즉 LLRM이 약 두 배의 데이터 크기를 필요로 하기 때문에 통신 측면에서 보다 많은 비용이 필요한 것으로 나타났다.

위치참조방법은 서로 다른 전자지도 데이터를 사용하는 시스템 간에 위치 정보를 교환하는 방법이라는 측면에서, 가장 핵심이 되는 평가 인덱스는 정확도이다. 이는 소요 시간이 짧고 전송되는 데이터의 크기가 작더라도 정보가 정확하게 전달되지 않으면 아무런 쓸모가 없기 때문이다. 이러한 측면에서 개발된 LLRM은 SCM에 비해 소요시간이 다소 오래 걸리고 전송 데이터의 크기가 크지만 모든 위치 정보를 정확하게 전달하는 측면에서 우수하다고 할 수 있다.

개발된 LLRM의 소요시간과 전송 데이터 크기 문제에 대한 해결 방법은 소프트웨어와 하드웨어, 두 가지 측면에서 접근이 가능할 것이다. ICT(Information and Communication Technology)와 컴퓨터 하드웨어 기술의 빠른 성장 속도를 감안할 때 LLRM의 실용화 시점에는 어느 정도 단점이 보완될 수 있을 것이다. 또한 추후 소요시간과 데이터 크기에 대한 실용화 측면에서의 임계값에 대한 연구가 진행된다면, 그 조건을 만족하기 위한 소프트웨어적인 추가 노력이 가능할 것으로 판단된다.

## V. 결 론

본 연구에서는 자율협력주행과 C-ITS 기술 구현에 있어서 필수적으로 요구되는 차로 수준의 위치참조 기술을 개발하였다. 이를 위해 용어를 정의하고 기술에 요구되는 전제조건을 제시하였다. 다음으로 위치정보 교환 데이터의 논리적 포맷과 물리적 포맷을 설계하고, 데이터의 효율적인 처리를 위한 인코딩과 디코딩 알고리즘을 개발하였다. 개발된 기술의 성능을 검증하기 위해 경부고속도로와 영동고속도로를 대상으로 구축된 두 개의 서로 다른 정밀전자지도를 구축하고, 검증용 소프트웨어 프로그램을 이용하여 정확도, 소요시간, 데이터 크기 측면에서 성능을 검토하였다. 그 결과, 제안된 기술은 정확도 측면에서 매우 우수한 것으로 확인되었다.

본 연구에서 개발된 차로 수준의 위치참조 기술은 연속류 도로의 본선구간만을 대상으로 한다. 향후 이외의 도로구간, 도로조건 등을 고려한 좀 더 향상된 기술의 개발이 요구된다. 그리고 기술의 실용화를 위해서는 도심부와 지방부를 아우르는 대규모 도로망을 대상으로 성능 검증이 이루어질 필요가 있으며, 나아가 자율협력주행과 C-ITS 기술을 탑재한 차량에서의 필드 테스트가 요구된다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업(18TLRP-B101406-04)의 세부과제인 “정밀전자지도 기반의 동적정보 시스템(LDM) 개발” 과제의 지원에 의해 수행되었으며, 성능 분석 부분에서 도움을 주신 웨이즈원 김재희 이사님께 감사드립니다.

## REFERENCES

- Duckeck R., Hiestermann V., Milton H., Sena M. and Wevers K.(1998), “Rules for Defining and Referencing an Intersection Location (ILOC): Detailed Location Referencing (DLR) for ITS Based on ILOCs,” *Final Report (Version 1.0). European Road-Transport Telematics Implementation and Coordination Organisation Committee on Location Referencing*, Brussels, Belgium, April 15.
- Hendriks T. and Wevers K.(2007), “Abstraction conflicts in industrial deployment of model-based interoperability standards,” *In Proc. Conference on Systems Engineering Research (CSER)*.
- Hiestermann V.(2008), “Map-independent location matching certified by the AGORA-C standard,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 16, no. 3, pp.307-319.
- ISO(2015), Intelligent transport systems (ITS) - Location referencing for geographic databases - Part 1: General requirements and conceptual model, International Standard.
- ISO(2015), Intelligent transport systems (ITS) - Location referencing for geographic databases - Part 2: Pre-coded location references (pre-coded profile), International Standard.
- ISO(2015), Intelligent transport systems (ITS) - Location referencing for geographic databases - Part 3: Dynamic location references (dynamic profile), International Standard.
- ISO(2017), Intelligent transport systems - Traffic and travel information (TTI) via transport

protocol experts group, generation 2 (TPEG2) - Part 22: OpenLR location referencing (TPEG2-OLR)

- Koncz N. and Adams T. M.(2002), "A data model for multi-dimensional transportation location referencing systems," *URISA Journal*, vol. 14, no. 2, pp.27-41.
- Pandazis J.-C.(1999), Final Report. Version 2.0. *EVIDENCE Consortium*, Brussels, Belgium, July 7.
- Scarponcini P.(2002), "Generalized model for linear referencing in transportation," *GeoInformatica*, vol. 6, no. 1, pp.35-55.
- Schneebauer C. and Wartenberg M.(2007), "On-the-fly location referencing methods for establishing traffic information services," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 22, no. 2, pp.14-21.
- Vonderohe A., Chou C. L., Sun F. and Adams T.(1997), "A generic data model for linear referencing systems," *Research Results Digest 218, National Cooperative Highway Research Program*, Transportation Research Board.
- Wevers K. and Hendriks T.(2006), "AGORA-C map-based location referencing," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1972, pp.115-122.
- Yang I. and Jeon W.-H.(2018), "Development of lane-level location data exchange framework based on high-precision digital map," *Journal of Digital Contents Society*, vol. 19, no. 8, pp.1617-1623.
- Yang I., Jeon W.-H. and Lee H.-M.(2017), "A Study on Dynamic Map Data Provision System for Automated Vehicle," *Journal of Korea Institute of Intelligent Transport System*, vol. 16, no. 6, pp.208-218.