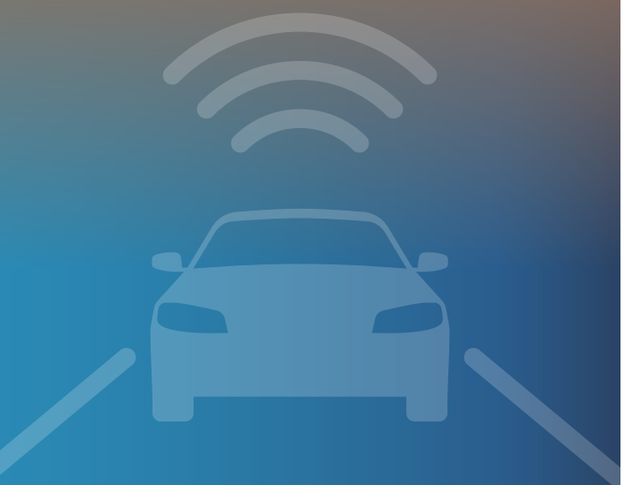
자율주행 시대에는 도로 체증이 없을까?

양인철 | 한국건설기술연구원 연구위원



1. 들어가며

우리는 매일 이동이라는 행위를 한다. 출근하면 퇴근하고, 지인을 방문하거나 쇼핑을 하고, 철 따라 좋은 곳을 찾아 여행하기도 한다. 모두 이동이라는 행위를 수반한다. 하루에도 수 km에서, 많게는 수백 km를 이동하는데, 이 중 상당 부분을 도로가 차지한다. 도로에서 보내는 시간이 많다 보니 자율주행차에 거는 기대도 상당하다. 이동형 오피스를 꿈꾸고, 이동 중 차 안에서 영화를 감상하고, 피곤한 사람은 잠을 잘 수 있는 시대를 기대한다. 이에 더해 자율주행이 도로 위의 악마, 교통 체증을 해결해 줄 수 있지 않을까 하는 희망을 품는다. 과연 자율주행은 교통 체증을 해소하는 특효약이 될 수 있을까? 많은 이들이 궁금해 하는 이 질문에 대해 답을 찾아보고자 한다.

2. 자율주행이 뭐야?

최근 들어 주변에서 장거리 운전이 편해졌다는 얘기를 많이 듣게 된다. 많은 신차가 첨단 운전자 보조 장치를 탑재하고 출시되면서 안전하고 편한 운전을 지원하게 된 것이다. 차량 주변 갑작스러운 물체의 등장을 빠르게 알아채고 브레이크를 대신 밟아주는 건 기본이고, 주차할 때 내 차량 주변의 모든 상황을 화면으로 보여주기도 한다. 고속도로에서는 차선을 자동으로 인식해 이탈을 방지해 주고, 앞 차와의 거리를 고려해서 스스로 속도를 조절한다. 어떤 차는 깜빡이를 켜면 차량 혼자 차선 변경을 수행하기도 한다. 이쯤 되면 핸들에서 손을 놓아도 되지 않을까 싶은 생각이 들 정도다.

앞 차의 거리를 고려해서 자동으로 속도를 조절하는 기능을 스마트 항속 제어(ACC, Adaptive Cruise Control)라고 한다. 미국의 도로를 달리다 보면 끝없이 펼쳐진 광야에 도로만 덩그러니 놓인, 정말 외롭고도 긴 운전코스를 만날 때가 있다. 이런 길을 달릴 때는 가속 페달을 밟지 않아도 그냥 정해진 속도로 달리면 좋겠다는 생각이 자연스레 들게 되고, 이를 함께 고민했던 자동차 엔지니어들이 수십 년 전에 항속 주행(CC, Cruise Control) 기능을 개발하여 많은 인기를 얻었다. 하지만 우리나라와 같이 고속도로에서 자주 다른 차를 만나게 되는 환경에서는 항속 주행이 쉽지 않기 때문에 그리 많이 활용되지는 않았다. 하지만 최근 들어 차량용 레이더 기술이 발전하면서 앞 차와 거리를 스스로 인식하는 것이 가능하게 되었고, 이에 따라 거리가 가까우면 속도를 줄이고 거리가 멀어지면 속도를 올려서 주행하는 스마트 항속 제어 기능이 개발됐다. 초반에는 어느 정도 속도 이상에서만 작동하던 것이 이제는 가다 서기를 반복하는 혼잡 상황에도 적용할 수 있게 되어 고속도로 진입과 동시에 스마트 항속 제어 기능을 사용하면 진출 전까지는 운전자가 속도 제어에 신경을 쓰지 않아도 된다. 여기에 차선 이탈 방지 또는 차선 유지 기능까지 함께 작동하면 거의 자율주행이라 할 만하다.

자율주행은 기계가 자동차를 운전하는 것이다. 전문적으로는 ADS(Automated Driving System)라는 용어를 사용하는데, 기존에는 사람이 외부의 상황을 인지하고 판단하여 자동차라는 기계를 제어하는 행위를 했다면 자율주행차에서는 ADS 시스템이 이 역할을 대신한다. ADS 시스템은 인지와 판단, 제어 장치로 구분된다. 다양한 센서로 구성되는 인지 장치는 사람의 오감을 대신하여 주변 상황을 인지한다. 판단 장치는 인지된 데이터를 융합하고 분석하여 제어 방법을 판단하고, 제어 장치는 판단된 결과를 실제 물리적인 차량에 전달하여 움직임을 조정한다.

차량은 횡방향 제어를 위한 조향 장치(핸들)와 종방향 제어를 위한 가속 및 제동 장치를 이용하여 원하는 방향과 속도로 주행한다. 이러한 장치를 효과적으로 제어할 수 있는 기술은 이미 ADAS(Advanced Driving Assistant System) 시스템에 적용돼 많이 활용되고 있어서 대부분의 자율주행 기술 개발은 인지와 판단 분야에 집중되고 있다. 인지 기술은 사람의 눈과 귀를 대체하는 센서와 이로부터 수집되는 데이터의 효과적인 융합과 처리, 분석 기술을 포함한다. 최근 다양한 센서 기술의 발전으로 인지 기술이 빠르게 향상되고 있는데, 영상카메라, 레이더, 라이다, 초음파 등이 대표적으로 활용되는 차량용 센서이다. 이에 더불어 사람에게는 없는 능력인 자신의 위치를 알아내는 GPS(Global Positioning System) 센서와 다른 차량 또는 인프라와 소통하여 정보를 취득하는 통신이 인지 기술의 발전에 중요한 역할을 한다. 판단 기술은 인지된 주변 교통상황에 따라 안전하면서 동시에 효율적인 제어 방법을 만들어 내는 것으로, 주변 상황에 대해 인지 정확도가 얼마나 높은지, ADS가 운전하는 차량의 물리적 성능은 어느 정도인지, 제어 장치의 효율성은 어느 정도인지 등이 중요한 요소다. 사람은 많은 운전 경험을 통해 상황에 맞는 판단을 하게 되는데, 자율주행도 이러한 행태를 모방하여 많은 데이터의 학습을 통해 적절한 판단을 하는 방식으로 개발이 진행되기도 하고, 일부는 일정한 규칙에 따라 정해진 판단을 내리도록 개발이 되기도 한다.

3. 자율주행은 교통체증 해소의 해법이 될 수 있는가?

지금까지 자율주행의 특징에 대해 알아보았다. 그렇다면 본격적으로 자율주행 도입과 교통 체증 해소의 관계에 대해 이야기해 보기로 하자.

교통 체증 또는 혼잡은 일반적으로 도로의 설계 속도에 비해 현저히 낮은 속도로 차량 흐름이 이어지는 상황을 말한다. 잘 닦인 도로를 시원하게 달릴 수 있으면 좋으련만, 이유도 모른 채 몇 시간째 가다 서기를 반복하며 지지부진하게 나아가다 보니, 이건 마치 점심으로 먹은 음식이 소화되지 않아 답답한 모양과 흡사하여 "체증"이라는 표현을 쓴 게 아닌가 싶다.

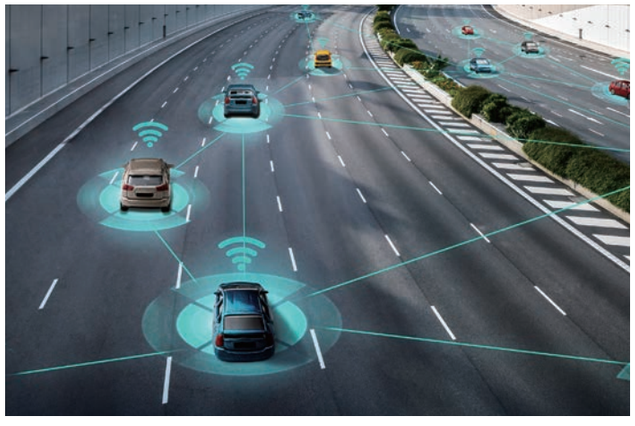
교통 체증의 원인은 다양하다. 가장 쉽게 생각해 볼 수 있는 체증의 원인은 돌발상황이다. 대표적인 돌발상황은 사고이다. 사고가 발생하면 어떤 형태로든 도로의 용량이 감소한다. 즉, 도로를 이용할 수 있는 전체 차량의 대수가 줄어들기 때문에 평소에는 원활한 흐름을 보이는 정도의 교통 수요에도 불구하고 극심한 교통 혼잡은 불가피해진다. 돌발상황은 말 그대로 일반적이지 않은 상황이기 때문에 자연스레 사람들의 이목을 끌게 되고, 이에 따라 파생되는 고무목(Rubber neck) 현상으로 본선뿐만 아니라 반대쪽 도로도 덩달아 혼잡해지는 현상이 발생한다. 누구나 흥미로운 현상을 보고 싶은 마음은 같기 마련이다. 이렇게 발생하는 교통 체증에서 자율주행차 한 대가 할 수 있는 역할은 극히 제한적이다. 물론 사고가 발생하면 인간 운전자보다 인지와 판단, 제어 능력이 월등한 자율주행차는 이를 회피할 수 있을 것이다. 하지만 이는 안전성에 관한 문제이므로 교통 체증과는 다른 결의 이야기이기 때문에 논외로 하자. 이후로도 안전 관련 문제는 다루지 않을 예정이니 자율주행과 안전 관련해서는 다른 글을 찾아보기를 권한다.

다음의 원인은 도로의 허용 가능한 양보다 많은 차가 쏟아져 나오는 것이다. 이건 마치 비가 너무 많이 내리면 하수구가 넘치고 강이 범람하는 이치와 같다. 당초 시간당 100대가 통행할 것으로 예측하고 도로를 건설했는데, 어느 날 200대가 한꺼번에 이용하려고 하면 막힐 수밖에 없다. 이는 기본적으로 교통 수요와 도로 공급 간의 불균형 문제이다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 수요와 공급 간의 균형을 맞춰야 한다. 도로를 확장하여 공급을 증가시키든지 교통 수요를 다른 쪽으로 돌려 수요를 줄이는 것이 해결책이다. 교통 수요 정책은 혼잡세 등 다양한 방법이 시도 되어 왔으니 관심 있는 독자는 한번 찾아보길 권한다. 도로를 확장하는 것은 큰 비용을 요구하는 대규모 사업이기 때문에 쉽게 접근하기 어려운 문제이다. 하지만 만약 도로의 확장 없이 공급 증가가 가능한 방법이 있다면 어떨까? 기존의 도로를 지금보다 효율적으로 사용하면 공급 증가의 효과가 있을 것이다. 자율주행은 인간 운전자보다 인지와 반응속도가 빨라서 차간 간격을 좁게 유지하며 안전한 주행이 가능하다. 많은 연구를 통해 자율주행차의 시장점유율이 높아지면 도로의 용량이 증가한다는 주장이 많다. 이게 사실이라면 자율주행은 기존 도로의 용량을 증가시켜 혼잡을 완화하는 데 일조할 것이다.

도심에서 발생하는 교통 체증의 주요 원인 중 하나는 교통신호다. 연속된 교차로 간 신호 연동이 잘 되어 있고 적절한 속도로 모든 차량이 주행한다면 체증을 많이 완화할 수 있겠으나 복잡한 도로망 구조에서는 쉽게 구현하기 어려운 게 사실이다. 여기서 잠깐 교통신호 운영 방법에 대해 간단하게 소개하고자 한다. 신호 운영 방법은 정해진 시간에 따라 녹색, 적색, 황색으로 등화의 색이 바뀌는 TOD(Time of Day) 방식과 접근 방향별 교통량을 실시간으로 모니터링하고 예측하여 그에 따라 신호의 길이를 조절하는 감응식(Actuated/Adaptive)으로 구분된다. TOD 방식은 간단하게 운영할 수 있다는 장점이 있지만 교통량이 평소와 다르게 분포하면 길고 지루한 신호 대기시간이 불가피해진다. 이에 반해 감응식은 교통량에 연동하여 신호 시간을 조정하기 때문에 불필요한 신호 대기시간을 줄일 수 있다. 특히, 교차로 통과 차량이 하나도 없는데도 불구하고 신호가 바뀌기를 기다리는 무의미한 시간 낭비를 최소화할 수 있다. 하지만 이 방식의 가장 기본적인 요구조건은 교차로 접근 교통에 대한 정확한 상황 인지 및 예측 기술이다. 잘못된 상황 인식은 단순한 방법보다 더 안 좋은 결과를 초래할 수 있다. 정확한 상황 인지와 예측을 위해서는 현실 세계를 효과적으로 데이터화할 수 있는 센서 기술이 필수이고, 도로 인프라에 설치하는 센서는 혹한의 조건을 만족해야 한다. 우리나라와 같이 계절 변화가 심하고 눈과 비가 내리는 상황에

서 센서가 제대로 작동하기란 쉽지 않은 일이다. 예전에는 제설 작업 시 눈을 노견으로 밀어내는 방식의 차량이 주로 사용되었고 이러한 차량이 한번 지나가면 설치된 모든 루프 검지기들이 무용지물이 되어 버렸다. 하지만 요즘에는 염화칼슘 등으로 어는점을 낮추는 방식이 주로 사용되기 때문에 검지기가 뜯겨나갈 일이 줄었다고 하니 다행스러운 일이다.

다시 자율주행으로 돌아와서, 과연 자율주행이 신호로 인한 교통 체증을 없앨 수 있을까? 어느 정도까지는 완화할 수 있다. 교차로 운영의 최대 목표는 많은 차량을 단시간에 통과시키는 것이다. 자동차는 적색 신호에 교차로에 정지해 있다가 녹색 신호가 들어오면 제일 앞 차량부터 하나씩 출발하여 통과하고 다시 적색 신호가 되면 정지선에 멈춘다. 운영 목표를 달성하기 위해서는 운전자가 앞 차의 움직임, 더 나아가 앞 차의 앞 차까지 움직임을 주시하며 빠르게 움직이는 것이 필요하다. 하지만 인간의 인지와 반응에는 한계가 있어서 최대 통과 차량의 대수에도 한계가 있다. 반면 앞서 소개한 자율주행은 기계가 운전하는 것이고, 기계의 인지, 판단, 제어 성능이 우수해지면 인간의 반응속도보다 훨씬 빠르게 앞 차의 움직임에 반응할 수 있어서 시간당 교차로 통과 대수가 증가할 것이다. 평소 녹색 신호 동안 10대만 통과하던 교차로에서 자율주행 도입으로 20대가 통과한다면 그만큼 교차로 지연시간이 감소하고 교통 체증이 완화된다. 특히 감응식으로 운영되는 교차로에서는 운전자 부주의로 인해 발생하는 넓은 차간 간격이 신호가 바뀌는 원인이 되기도 하는데, 자율주행차는 이러한 부주의도 예방하기 때문에 그 효과는 클 수밖에 없다.



고속도로를 주행하다 혼잡을 만나게 되면 이유를 생각하게 된다. 전방에 사고가 났나? 합류부가 있나? 휴게소가 있나? 이런저런 생각을 하다가 막상 혼잡이 끝나는 지점에 도착해서 아무런 이벤트가 없는 것을 발견하면 허탈한 기분을 느낀다. 도대체 왜 혼잡이 발생한 걸까? 도로에 혼잡을 유발하는 장난기 많은 유령이라도 있는 걸까? 도로교통 분야에서는 오래전부터 회자되었고 해법을 찾기 위해 많은 전문가가 연구를 거듭했던 이 문제를 "유령정체"라고 부른다. 말 그대로 특별한 이벤트 없이 유령이 정체를 유발했다는 것이다. 그렇다면 정말 유령이 그랬을까? 유독 교통 혼잡을 좋아하는 유령이 존재하는 것일까? 유령정체는 사람 운전자의 반응속도와 판단 및 제어 능력에 기인한다. 도로에서 앞 차의 브레이크 등은 간격이 좁아짐을 의미한다. 이를 인지한 운전자는 간격 유지를 위해 브레이크를 밟게 되는데 평균적으로 적절한 수준보다는 조금 과한 수준으로 반응하게 된다. 이는 그 뒤를 따르는 운전자도 마찬가지이고, 과한 반응은 뒤로 갈수록 누적되어 급기야 정지하는 차량이 발생하게 되면 혼잡이 불가피해진다. 이렇게 발생한 유령정체는 후방의 접근 차량이 적어지거나 전방의 정체 해소가 빠르게 이루어질 때까지 유지된다. 자율주행은 사람보다 운전 실력이 훨씬 낫다는 사실을 전제로 인간 운전자보다는 덜 과한 반응이 가능할 것이므로 유령정체의 발생을 조금 늦출 수 있다. 하지만 이 또한 일이 발생한 후 대응하는 사후 처리 방식이기 때문에 원인 자체를 제거하기에는 역부족이다. 선제적으로 대응하는 사전 대응 방식으로 바꿀 수 있다면 유령정체 발생을 미리 차단하는 것이 가능할 것이다.

4. 자율주행 '차'의 시대에서 자율주행 '모빌리티'의 시대로

자율주행의 차별적 특성, 즉 인간 운전자보다 빠른 인지, 판단, 제어 성능 덕분에 혼잡을 유발하는 인적 요인을 대체하여 어느 정도 교통 혼잡을 완화할 수 있다. 하지만 완전한 혼잡 제로 상태로의 전환은 불가능하다. 여전히 앞 차와의 상호작용, 도로라는 제한된 공간, 한정된 인지 범위 등의 물리적 제약이 존재하기 때문이다. 한 대의 자율주행차는 인간 운전자보다는 효율적으로 주행할 수 있지만 도로교통 시스템의 변화를 이끌기는 부족하다.

여기서 우리의 관점을 자율주행 '차'에서 자율주행 '모빌리티'로 전환해 보길 권한다. 한 대의 차가 아닌 이동이라는 행위 자체로 도로를 바라보는 것이다. 이동은 목적지부터 출발 시간, 경로, 이동 수단을 선택하는 모든 행위를 포함하는 개념이다. 통행하는 사람이 원하는 목적을 달성하기 위해 적절한 목적지를 선택하고, 원하는 시간에 도착하기 위해 넉넉한 통행 시간을 고려하여 출발 시간을 선택하고 그에 적절한 경로와 이동 수단을 선택하는 것, 그리고 무엇보다도 주행 중 주변 이동체와의 상호작용을 통해 안전하고 효율적인 거동을 판단하고 제어하는 것, 이 모든 행위의 집합을 모빌리티라고 할 수 있다. 이동 수단 중 하나인 자동차만 자율주행이 되는 것을 넘어 모빌리티 전체가 자율주행이 되는 시대를 상상하면 교통 혼잡 제로 상태도 그리 먼 얘기는 아닐 것이다.

자율주행 모빌리티 시대에는 도로교통 시스템 전체를 바라보는 관리 및 운영 주체가 존재한다. 모든 도로의 상태 정보를 관리하고 이를 기반으로 개별 이동 주체의 모빌리티를 최적화할 수 있는 자율주행 통합 모빌리티 센터가 쉬운 예가 될 것이다. 적절한 목적지를 추천하고 출발 시간과 경로, 이동 수단을 제안하는 서비스는 앞서 언급했던 수요와 공급 불균형을 해결하여 교통 수요 정책의 목표를 달성하게 한다. 이러한 주장의 기본 전제는 당연히 서비스를 이용하는 주체가 제안하는 방

식을 그대로 수용한다는 것이고, 자율주행은 이를 가능하게 하는 역할을 할 것이다. 도로교통 시스템 전체에 대해 모든 정보를 갖는 센터와 그 판단에 따라 움직이는 자율주행차의 결합이 혼잡 제로의 도로교통 상태를 약속한다. 모든 도로의 용량을 최대로 활용할 수 있는 방향으로 개별 이동체의 목적지와 출발 시간, 경로, 이동 수단을 결정하고 제공한다면 더 이상 수요 과잉, 공급 부족으로 인한 교통 혼잡은 존재하지 않을 것이다.

센터라는 중앙 집중형 방식은 도로의 공간적 분할을 통해 좀 더 효율적인 체계로 발전할 수 있다. 이는 도로의 일부분을 집중적으로 관리하는 스마트 엣지 인프라를 생각해 보면 쉽게 이해할 수 있다. 도로의 교통 상태를 알기 위해서는 인프라 센서가 필요하고, 이를 통해 수집되는 데이터는 현장에서 융합 과정을 거쳐 체계화된 정보로 변환된다. 현장에서 수집된 실시간 정보를 엣지 컴퓨팅을 통해 자율주행 인지, 판단, 제어 지원 정보로 생성하여 제공함으로써 자율주행차가 주변 이동체와 좀 더 안정적으로 상호작용할 수 있게 할 수 있다. 교차로의 효율을 극대화하기 위해 접근 차량의 위치와 속도를 기반으로 누가 먼저 통행할지를 결정하는 고도의 지능화는 스마트 엣지 인프라를 통해 얻을 수 있는 궁극의 목표가 될 것이다. 이는 도심 교통의 가장 큰 문제인 신호 교차로 혼잡 문제를 해결하는 핵심 솔루션이다. 신호가 없는 교차로에서 각 방향의 접근 차량이 정지 없이 충돌하지 않고 실을 꿰듯 통과하는 상상 속 이미지가 자율주행 모빌리티가 가져올 미래 교차로의 모습이다.

유령정체를 해소하기 위한 가장 확실한 방법은 미리 알고 대응할 수 있게 하는 것이다. 흔히 운전을 잘하는 사람은 앞 차의 앞 차가 어떠한 움직임을 하는지 중요하게 생각한다. 미리 대응하기 위함일 것이다. 하지만 쉽지 않다. 정보를 얻기가 힘들기 때문이다. 스마트 엣지 인프라의 핵심은 통신을 통한 정보의 공유이다. 차량과 차량, 차량과 인프라 간 정보 공유를 통해 상호 상태를 인지하고 미리 대응할 수 있게 지원하는 것이 가장 중요하다. 공유된 정보를 기반으로 앞으로 취해야 하는 제어 방식을 결정할 수 있고, 다른 자율차 또는 인프라와의 협력을 통해 보다 안정적으로 원하는 거동을 수행할 수 있다. 앞 차가 감속할 것을 미리 알기 때문에 감속 후에 대응하는 것이 아니라 선제적으로 적절하게 감속하여 과잉 대응을 방지하고, 결국엔 유령정체 발생을 차단한다.

5. 마치며

자율주행은 여전히 미지의 영역이다. 기술적으로 많이 발전하고 있지만 본격적인 상용화를 위해서는 아직 미숙한 부분이 많다. 더구나 Trolley problem과 같은 윤리적인 문제부터 자율주행 전용 도로, 자율주행 보험과 같은 정책적인 부분까지 다양한 분야의 전문가가 참여하여 함께 해결해야 할 난제가 여전히 산적해 있다. 그럼에도 불구하고 자율주행이 우리에게 많은 것을 약속하는 미래 첨단 기술임은 분명하다.

도로를 이용하는 사람은 길이 막히지 않는 걸 원한다. 목적지에 너무 늦지도, 너무 이르지도 않게 도착하고 싶어 한다. 교통 체증은 이러한 희망을 방해하는 말썽꾸러기와 같은 존재다. 이는 단순히 이동하는 사람에게 불편을 주는 것을 넘어 사회적으로도 막대한 비용을 치르게 한다. 그래서 큰 노력을 들여 체증을 해소하려고 노력한다.

자율주행이 교통 혼잡을 해결할 수 있는 실마리가 될 수 있을까? 필자의 대답은 '그렇다'이다. 단, 차량 단독이 아닌 다른 차량, 그리고 인프라와 협력하는 자율주행 모빌리티 생태계 조성이 선행 조건이 되어야 한다. 자율주행을 단순히 '차'로 보지 않고 '모빌리티'로 인식하게 되면 "도로가 막힌다"라는 표현을 사용하지 않는 진정한 교통 체증 제로의 삶을 살게 되지 않을까 하는 기대를 마음에 품으며 글을 마친다.