

CO2 센서를 이용한 차실내 공기질 제어 기술 개발 Automotive Cabin Comfort Control Using Carbon Dioxide sensor

*#이정훈¹, 김경수¹, 김영민², 김영길², 박준규³, 김무용³,
*J. H. Lee(jhlee6@kaist.ac.kr)¹, K.S.Kim¹, Y.M. Kim², Y.K.Kim², J.K.Park³, M.Y.Kim³
¹ 한국과학기술원 기계공학과, ² 한라공조 기술연구소, ³ 현대기아자동차 기술연구소

Key words : CO2, carbon dioxide, automotive, comfort, fuel economy, air conditioning, control

1. 서론

현대 사회는 생활권 확대 요구와 교통, 통신 발달의 상호 상승 작용에 의해 비약적인 변혁을 이루고 있으며, 특히 교통 수단 중 자동차의 비중은 점점 커져 업무적으로나 여가 활동을 위해 많은 시간을 차실내에 체류함에 따라 집안과 같은 쾌적한 환경에 대한 요구가 커지고 있다. 또한 자동차의 빠른 보급은 환경 및 에너지 문제를 심화시켜 각국 정부의 온실가스 감축 및 연료절감을 위한 연비 규제 강화를 촉발시키고 있다.

이에 따라 자동차 업계에서는 단기간에 Table 1 과 같은 정부 규제를 만족시키기 위해, 에너지의 효율적인 이용과 온실가스 배출량 감축을 위한 연비 향상관련 연구 및 개발에 집중하고 있다.

Table 1 2016 CO2 emission & fuel efficiency regulation

2016년 (가솔린엔진기준)	한국	미국	유럽
연비 기준[km/l]	17 이상	16.6 이상	20 이상
CO2 배출 기준[g/km]	140 이하	152 이하	120 이하

에어컨 가동 시 연비에 미치는 영향은 여름철 대략 25%, 연간 10% 안팎의 큰 비중을 차지하고 있어 공조 관련하여 Compressor, 열교환기 등 부품 성능 향상과 시스템 최적화 등 효율 증대를 위한 하드웨어적인 개선과 더불어 ECON 제어 로직 등 소프트웨어적인 개선도 병행되어 지고 있다. 특히 차실내 열부하에서 환기손실이 약 10% 이상을 차지하고 있으므로 여름철 더운 외기 공기 유입을 차단하고 서늘한 실내 공기를 순환시키는 내기 순환모드 확대가 열부하 저감차원에서 요구되고 있다. 하지만 내기 모드가 지속될 경우 연비 향상은 도모되나 부수적으로 실내 습도 상승에 따른 포그 발생 및 CO2 누적에 따른 졸음 유발이 우려되어 안전을 위협하는 요소가 될 수 있다. 이에 습도 상승에 대한 포그 발생 억제 및 제거는 양산 적용되고 있는 오토 디포그 시스템에서 기술적으로 해결 가능하므로 본 연구에서는 CO2 측면에서의 쾌적성 확보 및 연비 향상을 위한 내기율 증대가 가능하도록 시스템을 구현하여 실차 시험을 통하여 제어 로직의 타당성을 검증하고자 한다.

2. CO2 센서

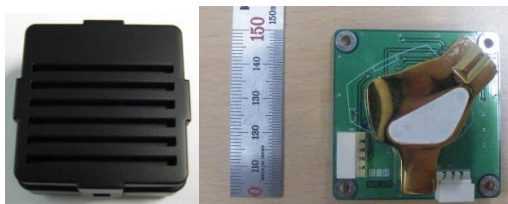


Fig. 1 CO2 sensor module and wave guide

본 연구에서는 비분산 적외선 (NDIR - Non Dispersive Infrared) 방식의 CO2 센서로 차실내 CO2 농도를 계측하였다. 이 방식은 적외선 발광 램프로 부터 방출된 빛이 적외선 수광 센서까지 도달하는 과정에서 CO2 가스의 농도에

따라 얼마나 적외선 양이 줄어드는가를 측정해서 CO2 가스의 농도를 측정하는 방식으로 수명이 길고 정밀도가 높아 기존의 접촉식(화학식) 센서에 비해 차량용으로 적합한 특성을 가지고 있다. 본 모듈은 CO2 농도 1000~2000ppm 에서 공차가 약 8%이며, 700ppm 에서 3500ppm 노출 시 63.2% 감지 도달까지 약 36초 소요되는 성능을 갖고 있다.

탑승 인원 및 신체 특성에 따른 CO2 농도 상승 패턴이 상이하므로 차 실내 내기 순환에 따른 연비향상과 신선한 외기 유입에 의한 차실내 공기질 향상의 상충된 목표를 효율적으로 달성하기 위해서는 CO2 센서를 통한 실시간 모니터링 및 적절한 공조 제어가 필수적이다.

3. 차량 구성

차량 실내 쾌적성 및 연비 향상 기술을 육성하기 위해 기존 공조 제어 및 외부 매연 공기 유입을 막기 위한 AQS[Air Quality Sensor]를 통한 공기질 관리에 CO2 센서를 추가하여 통합 제어가 될 수 있도록 아래 Fig. 2 와 같이 시험 차량을 구성하였다.

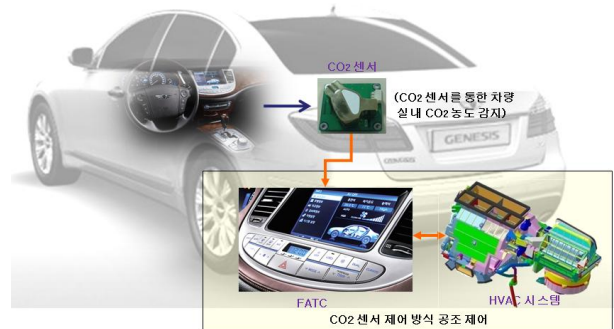


Fig. 2 Vehicle setup of automotive cabin CO2 control system

CO2 센서 위치는 탑승자가 들이마시는 공기의 CO2 농도 및 경향을 모니터링 할 수 있는 위치가 가장 이상적이므로 좌석 하단부나 Instrument Panel 전면부등 여러 위치를 고려하여 시험한 결과 B Pillar 근방 위치가 Fig. 3 과 같이 탑승자의 들숨의 CO2 농도를 유사하게 추종함을 알 수 있었다.

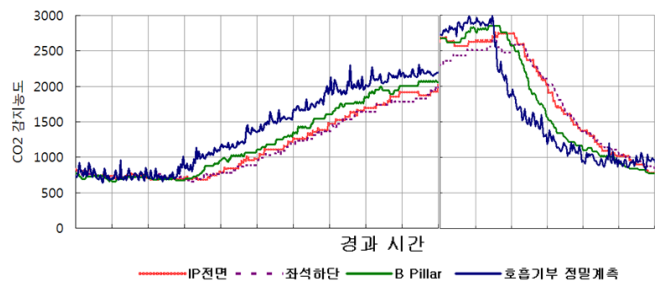


Fig. 3 CO2 tracking performance according to sensor positions

4. 공조제어사양

본 공조 제어 사양은 DFSS[Design For Six Sigma] 기법을 활용하여 우선 시스템의 이상 기능을 기준 농도 이하로

차실내 CO2 가스 농도를 유지하는 것과 시간에 비례한 CO2 량 제거로 정의하고, 시스템 내 인자 및 출력간 관계를 분석하여 Fig. 4 와 같이 P-Diagram 으로 도시화 하였다.

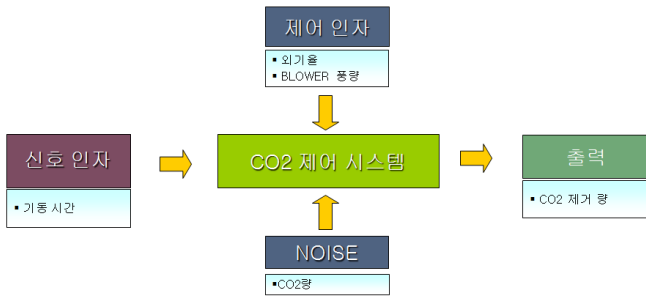


Fig. 4 P-Diagram for CO2 control system

차실내 CO2 농도는 시간의 경과에 따라 변동되므로 신호 인자로 기동시간을 선정하였으며, CO2 량은 외부 공기 유입으로 제거되며 외부 공기 유입량은 외기 Door 열림과 Blower 풍량에 따라 결정되므로 제어 인자를 외기온과 풍량으로 선정하였으며, 실내 CO2 량에 따라 제거되는 속도가 변동되므로 CO2 농도를 Noise 인자로 선정하였다. 그리고 각 인자별 적절한 수준을 선정하여 반응 표면 실험을 통하여 최적화를 실시하였다.

또한 차실내 CO2 제어 목표는 쾌적성 향상을 목적으로 ASHRAE[미국냉동공조학회] 실내환경 기준인 1000ppm 과 한국 대중교통수단 실내공기질 관리가이드 라인 (LEVEL1) 열차 및 버스 관리기준인 2000ppm 사이인 최대 1500ppm 이하로 유지하는 것으로 선정하였다.

5. 시험결과

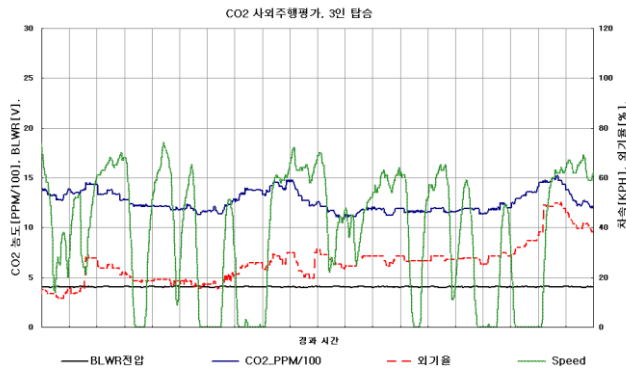


Fig. 5 Vehicle experiment result for cabin CO2 control (CO2 Control On)

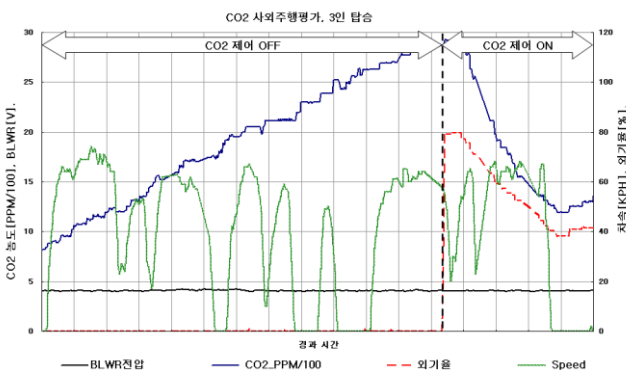


Fig. 6 Vehicle experiment result for cabin CO2 control (CO2 Control Off/On)

상기 Fig. 5, 6 그래프는 차량에 CO2 농도 제어 시스템을 구현하여 실차 주행 평가한 시험결과이다. Fig. 5 에서 볼 수 있는 바와 같이, 3인 탑승 상태, 내기 순환 모드 작동시에도 약 30% 정도의 최소 외기 유입을 통하여 차실내 CO2 농도를 1500ppm 이하로 쾌적성이 확보되도록 제어되고 있음을 알 수 있다. 또한 Fig. 6 과 같이 초기 CO2 제어 미작동 상태에서 내기로 CO2 농도를 약 3000ppm 까지 상승시킨 후 CO2 제어를 작동시켰을 때 약 2 분 40 초 내에 1500ppm 이내로 진입됨을 알 수 있다. 물론 Blower 풍량을 증대시킬 경우 진입시간을 단축시킬 수 있으나 Blower 풍량 증대는 탑승자에게 위화감을 줄 수 있으므로 더 높은 CO2 농도에서 작동시키도록 제어 로직을 구성하였다.

6. 결론

본 논문에서는 연비 향상 및 CO2 배출량 감소에 기여할 수 있는 내기 순환모드 확대와 이에 따른 부작용인 탑승자 쾌적성 저하를 개선하기 위한 CO2 센서를 이용한 가변 내/외기 제어[Intake 제어] 및 풍량 제어를 제안하였다. 또한 CO2 센서 위치는 실제 탑승자가 들이마시는 CO2 농도를 계측할 수 있도록 공기 유동성이 양호한 위치로 제안하였다. 그리고 공조 제어 사양 육성을 위하여 시스템을 정의하고 반응 표면 실험을 통해 최적 제어 사양을 수립하여 이를 실차 시험을 통하여 검증하였다. 본 연구에서 제안된 시스템과 제어를 통해 연비 향상 및 CO2 배출량 저감과 더불어 차실내 쾌적성을 확보할 수 있는 기술을 확보하였으므로 향후 양산 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 현대기아자동차 기술연구소 기술용역 지원으로 수행 되었음.

참고문헌

1. Michael Arndt, Maximilian Sauer, "Spectroscopic carbon dioxide sensor for automotive applications" Sensors, Proceedings of IEEE, 252 - 255, vol.1, 2004
2. 김규식, 오준태, 김희식, 김조천, "비분산 적외선 방식의 CO2 센서 모듈에 관한 연구" 전자공학회 논문지 SC 제 46 권 제 2 호 통권 제 326 호, pp.36-40, 2009
3. 오토저널, 자동차관련 기술 및 업계소식, 2010.04