

자동차용 냉매가 환경에 미치는 영향



김 영 일

- 출처 : 2000, Environmental Impacts of Automotive Refrigerants, ASHRAE Journal, September, 50-51.
- Bahram Khalighi(미국 General Motors R&D 센터의 Staff Research Engineer)
- Steve Fischer(미국 Oak Ridge National Laboratory의 Senior Research Engineer)

환경친화적 자동차에 대한 관심이 커질수록 여러 분야에서 시스템 설계의 영향을 더욱 더 잘 이해하려는 노력이 진행되고 있다. 자동차용 냉방기의 경우 냉방시스템의 세밀한 분석과 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위한 설계가 이루어지고 있다. 그 중에서도 냉매의 선택과 그 냉매의 환경적 영향에 대한 자세한 연구가 필요하다. 몬트리올 조약 이후 자동차 산업계는 대부분 R-134a를 채택하고 있는데, 이는 R-134a가 오존층을 파괴하지 않을 뿐 아니라 적절한 사이클 효율을 가지면서, 안전하고 비독성이며 불연성이기 때문이었다.

최근 지구온난화와 이산화탄소(CO₂)의 발생원에 대한 관심은 산업계가 사용냉매를 재검토하게 하는 계기가 되었으며, R-134a도 교토 조약의 규제냉매에 속해 있어 자동차용 냉방기의 대체냉매에 대한 연구가 시급하다고 여겨지고 있다. R-134a와 관련된 주된 논점은 냉매 누설시의 영향이다. R-134a의 지구온난화지수(GWP)는 1,300인데, 이는 누출되었을 때 1,300배의 이산화탄소가 누출된 것과 동일하다는 것을 의미한다.⁽¹⁻³⁾ 최근 자연냉매의 선호와 맞물려 냉매로서 이산화탄소의 평가에 많은 관심이 모아지고 있다.

본 글에서 자동차용 냉방기의 대체냉매로서 이산화탄소의 상대적인 장점과 R-134a와의 비교에 대해 수행된 연구결과를 나타내었다.

연구 방법

냉매의 선택은 종합적인 관점에서 이루어져야 하므로 환경에 미치는 영향의 정도를 나타내기 위해 TEWI(Total Equivalent Warming Impact)지수가 사용되며,⁽⁴⁾ 냉매 누출 영향, 냉방할 때 소비되는 에너지뿐만 아니라 운송 수단의 냉방에 사용되므로 냉방기를 수송하는데 소요되는 에너지를 모두 고려하여 냉매에 대한 평가가 이루어진다.

R-134a와 이산화탄소의 두 가지 냉매에 대한 상대적인 장점들에 대해서는 많은 다른 의견들이 존재하는데, 이는 대기조건, 차량과 시스템의 사양, 냉방기 사용 방식과 관련된 가정이 서로 다른데서 기인한다. 이러한 차이를 피하기 위해서는 차량과 시스템 사양, 대기에 있어서 표준화된 조건이 사용되어야 한다. 이 글에서는 표준적으로 생산되는 중형차에 대해 분석이 수행되었다.⁽⁴⁾ 본 연구에서 사용된 차량, 엔진의 사양 및 주요 변수는 3.8 L V6 엔진, 자동변속기, 냉매주입량은 964 g의 R-134a, 압축기는 가변 배기량 방식이다. 냉매(R-134a, CO₂)에 따른 성능 비교를 동일한 조건에서 하였으며, 증발기 출구 공기 온도와 풍량은 각각 13°C, 118 L/s으로 하였다.

표준 차량 운전 사이클과 차량 특성을 고려하여 6개의 도시에서 차량과 냉방기의 작동을 시뮬레이션하였다. 6개의 도시는 지구의 다양한 기후를 대표하며, 각 도시의 전형적인 기상정보가 사용되었다.⁽⁵⁾ 각 지역에서 가정된 쾌적도와 기상 자료를 이용하여 필요한 냉방부하와 시스템 성능계수를 계산하였다.⁽⁴⁾

미국 도시들의 경우 자동차 냉방기 압축기의 운전 형태와 궁극적으로 TEWI 지수를 결정하기 위해 EPA(Environmental Protection Agency) 운전사이클이 사용되었다. 유럽의 경우 European ECE 93/116 운전 스케줄, 도쿄의 경우는 모드 10과 모드 15 사이클의 조합이 사용되었다.⁽⁴⁾ 시뮬레이션과 사양에 대한 자세한 내용은 참고문헌⁽⁴⁾에 주어져 있다.

R-134a 시스템의 성능 비교에서 주된 논점은 누출이기 때문에 다음과 같은 조건에서 분석이 이루어졌다. 이 수치들은 차량 수명(11년) 중에 2번까지 재충전하는 것에 해당된다. 이산화탄소의 온난화지수는 R-134a에 비해 매우 작기 때문에 누설은 중요하지 않다. 반면에 이산화탄소 시스템은 저속이나 공회전 상태에서 유입 온도(approach temperature)에 매우 민감한 것으로 나타났다. 이때 엔진열로 가스쿨러 입구 공기온도가 대기온도에 비해 10°C 이상 높아지고,^(4,6) 이로

〈표 1〉 분석에 사용된 조건

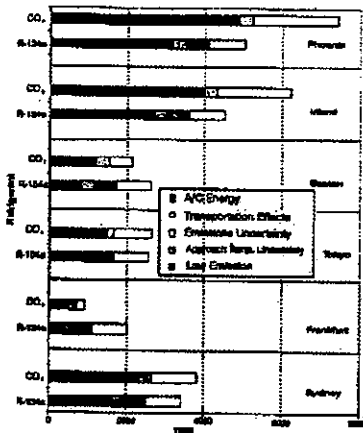
	누출이 적은 경우	누출이 많은 경우
차량 수명(년)	11	11
초기 주입량(g)	964	964
수명중 재충전 회수	0.5	2
폐차시 잔존 냉매량(g)	630	630
폐차시 방출량(g)	63	63
폐차시 회수율(%)	90	90
연간 유효 방출량(g)	35	98

인해 CO₂ 시스템의 성능이 저하하며, TEWI 수치가 상승하게 된다. 본 CO₂ 시스템 분석에서 사용된 유입 온도는 다양한 재유입 형태에 기초하고 있다. 차량속도와 대기온도에 따른 이러한 현상은 환경풍동에서의 실험으로 확인되었다.

결과

본 연구에서는 지역 기후와 요구 탑승공간 쾌적도(passenger compartment comfort level)를 미국표준연구소(NIST)의 REFPROP6 물성치 프로그램과 EES(Engineering Equation Solver) 프로그램의 입력 변수로 사용하였다. 여기서 각각의 차량과 지역에 대한 공조장치의 성능계수와 냉방부하가 계산되면, 다시 다양한 차량 운행 모델을 적용한 프로그램을 통하여 최종적으로 TEWI 지수가 계산된다.⁽⁴⁾ 공조 장치의 수송으로 인하여 발생하는 등가 CO₂ 발생량은 10,000km의 주행거리에서 100kg 당 57리터의 연료를 추가로 사용하는 것과 같다고 계산되었다. 여러 지역과 공조시스템의 수명에 대한 차량 운행 시간 모델링을 사용하여 차량 수명 동안의 연료 소비량을 계산하였다. 공조 시스템으로 인한 무게 증가 때문에 발생하는 차량 수명 동안의 연료 소비량은 등가 CO₂ 발생량으로 계산하였을 때 연료 1 리터당 2.32kg의 CO₂가 발생하는 것에 해당된다.

〈그림 1〉은 6개 도시의 서로 다른 기후 조건에서 냉매의 종류(R-134a와 CO₂)에 따른 TEWI의



〈그림 1〉 R-134a와 CO₂ 시스템의 TEWI

변화를 나타낸다. TEWI 값은 a) 냉방에 의한 것, b) 시스템 수송에 의한 것, c) 본 연구에서 사용된 가정들에 의한 불확실성에 의한 것의 3가지의 합에 의하여 결정된다. 막대 그래프의 셋째 부분은 CO₂ 시스템에 대하여 "유입 온도 불확실성"을 나타내는데, 이는 공기의 재유입(다른 유입 온도)이 효율에 미치는 영향을 반영하기 위한 것이며, R-134a 시스템에 대한 마지막 부분은 직접 누설에 대한 불확실성을 나타낸다. R-134a 시스템은 고온 다습한 지역(Phoenix와 Miami)에서 CO₂ 시스템에 비하여 우수한 성능을 나타내며, Frankfurt와 같이 추운 지역에서는 TEWI 지수 측면에서 볼 때 CO₂ 시스템이 우수하다.

토론

본 연구를 통하여 얻은 확실한 사실은 TEWI 지수는 기후 조건, 차량 크기 및 주요 가정들에 따라 상당히 다른 값을 보인다는 것이다. 그러나, 신중히 설정된 조건하에서는 TEWI 지수 측면에

서 볼 때 따뜻한 기후에 대하여 R-134a 시스템이 좋으며, 추운 기후에 대하여서는 CO₂ 시스템이 우수하다는 것은 분명해 보인다.

CO₂ 시스템은 R-134a 시스템에 비하여 상당한 고압에서 작동하므로, 누설을 막기 위해서는 고품질의 피팅들이 필요하다. 데이터에서 볼 수 있듯이, 추운 기후에서는 R-134a 시스템에 대하여 TEWI에 영향을 미치는 가장 큰 요소가 누설에 의한 것이다. 만약, 이러한 누설이 줄어들었다면 추운 기후에서도 R-134a 시스템이 유용할 수 있을 것이다.

CO₂ 농도의 증가는 운전자와 탑승자의 쾌적성과 건강에 영향을 미칠 수 있으며, 많은 연구자들이 탑승공간으로의 냉매 누설에 기인하는 안전성 문제를 조사하였다.^(6, 7) 증발기에서의 누설은 충전된 냉매의 급격한 손실을 가져오며, 이는 곧 CO₂ 농도를 높여 호흡량을 증가시키고 두통, 오한, 현기증, 혈압상승 및 구토 증세를 일으킬 수 있다. CO₂의 높은 확산률을 고려한 과충전만 하지 않는다면, CO₂의 농도는 쾌적한 범위 내에 있게 될 것이다. 전술한 징후들에 대처하여 창문을 열거나 공조 시스템의 외기 도입 모드를 사용하여 충분한 환기를 시킨다면, CO₂의 농도는 급격히 감소하여 쾌적하고 안전한 수준이 된다.

〈참 고 문 헌〉

1. Fisher, S.K. and Sand, J.R. 1997. "Total environmental warming impact(TEWI) calculations for alternative automotive air-conditioning systems," SAE Paper no. 970526, February.
2. Bhatti, M.S. 1997. "A critical look at R-744 and R-134a mobile air conditioning systems," SAE Paper no. 970527, February.
3. Bhatti, M. S. 1999. "Enhancement of R-134a auto air conditioning systems," SAE Paper no. 1999-01-0870, March.

4. Sumantran, V., et al, 1999. "An assessment of alternative refrigerants for automotive air conditioning applications based on environmental impact." SAE Alternative Refrigerant Forum, June.
5. 1978. Engineering Weather Data, AFM88-29, TM5-785, NAVFACP-89, Department of the Air Force, the Army and the Navy, July.
6. Amin, J., B. Dienhart, and J. Wertenbach, 1999. "Safety aspects of an A/C system with carbon dioxide as refrigerant." ASE Alternative Refrigerant Forum, June.
7. Pettersen, J. and J. Hakenjos, 2000. "boiling liquid expanding vapor explosions(bleve) in CO2 vessels: initial experiments." Preliminary Proceedings of the 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference on natural Working Fluids at Purdue, July 25-28. ⑤

Translated by permission from ASHRAE Journal, copyright Vol. 42, No. 9, 2000, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. The original English language version of this translation is available from ASHRAE, 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329 USA(www.ashrae.org). SAREK is solely responsible for the accuracy of this translation.