

변형된 삼원촉매에 의한 저온시동조건에서의 메탄올엔진 배가스 정화효과에 관한 연구

Studies on the Emission control of methanol engine exhaust with modified 3-way catalyst at cold start condition

洪 鍾 盛 · 丁 碩 鎭

慶熙大學校 工科大學 化學工學科

(원고접수 : 1993. 3. 31)

Jong-Sung Hong and Suk-Jin Choung

(Received 31 March 1993)

Abstract

As the major methanol fueled vehicle exhaust components, formaldehyde & methanol conversion over the existing commercial 3-way catalyst was examined in a laboratory flow reactor system. The tested catalyst system were modified silver catalysts which contains different Ag loadings on commercial 3-way catalyst, and german commercial catalysts for methanol engine exhaust manufactured by a commercial manufacturer.

Silver catalysts were prepared by the wet impregnation of silver nitrate solution on commercial 3-way catalyst. These catalysts were characterized with BET Surface area and pore size distribution.

In general, the formaldehyde(HCHO) conversion of the tested catalysts was similar to that of methanol(CH₃OH). At 100°C, which is equivalent to the cold start condition, 5wt% Ag cat. showed the most excellent HCHO and CH₃OH conversion. The order of activity for conversion of HCHO & CH₃OH to carbon dioxide and water vapor was as follows ; 5wt% Ag/3-way cat. > 2wt% Ag/3-way cat. > german cat. front(1) > german cat. rear(2) > 10wt% Ag/3-way cat. > commercial 3-way catalyst. However there was no significant activity difference between those tested catalysts in the hot run condition of 400 °C. Therefore, it could be concluded that the Ag-modified 3-way catalyst was the most effective and practical catalyst system which could be capable of removal the HCHO and methanol at the special condition of low temperature such as cold start condition.

1. 서 론

1970년대 석유파동 이래 산업계, 각 에너지 분야에 있어서 석유 대체에너지 도입의 필요성이 급격히 고조되었지만, 원유가격이 대폭 하락한 현재, 대체에너지에 대한 절박감이 약화된 감이 있다. 그러나 장기적인 관점에서 볼 때 대체에너지의 도입은

필수적이며 최근 대기 공해문제와 관련하여 자동차의 배출물 규제가 점차 강화됨에 따라 강화된 배출물 규제에 대응할 방안의 하나로 대체연료 도입의 움직임이 활발해지고 있다(이성열, 1989).

대체연료로 고려되는 것(수소, 전기, 태양열 등) 들중 메탄올은 원료가 다양하며 가장 많이 사용되는 천연가스는 세계적으로 널리 분포되어 있고 매

장량도 풍부하여 석유와 비교하여 안정적으로 공급될 수 있다. 따라서 경제적 및 전략적인 측면에서도 메탄올의 사용이 중요시 된다(E. E. Ecklund, 1978).

메탄올은 옥탄가가 높아 고압촉비를 채용할 수 있으므로 열효율을 높일 수 있으며, 유황이나 납같은 촉매의 성능을 저하시키는 피독물질(poison)이 거의 존재하지 않고 배기가스의 온도가 낮기때문에 장시간 사용시 촉매의 열화(Thermal Deactivation)를 방지할 수 있으며, 단일 성분 연료이므로 배기가스 조성이 단순하고($CH_3OH + O_2 \rightarrow HCHO + H_2O$) 깨끗하다. 따라서 배기공해 저감을 위한 유망한 연료라 할 수 있다(H. Hellman et al., 1990 ; Dennie et al., 1991). 그러나 연료로 사용시 야기되는 문제점으로, 가솔린에 비하여 증기압이 낮고 증발잠열(Latent heat of vaporization)이 매우 높아 저온시동성이 어려우며, 저온시동시 메탄올의 부분 산화 생성물로서 발암 물질인 포름알데하이드(HCHO)가 엔진이 가열된 경우에 비하여 6배 이상 배출되므로(H. Menrad et al., 1988), 현행 가솔린 엔진 차량에 사용되는 삼원촉매와는 다른 관점에서 메탄올 엔진 배기가스 정화용 촉매가 개발되어야한다.

따라서 본 연구에서는 McCabe 등(1986 ; 1987 ; 1988)과 Gandhi 등(1989)의 보고를 참조하여 저온시동시 메탄올 엔진의 배기 유해가스의 주성분인 미연소 메탄올(CH_3OH) 및 포름알데하이드(HCHO)의 제거를 위해 기존 가솔린 엔진 차량에서 사용되는 삼원촉매상에 새로운 화학적 촉매 성분의 첨가, 또는 개질을 통한 메탄올 엔진 고유의 다원 촉매 system을 개량 또는 개발하여, 저온시동시의 배기 유해가스(특히 포름알데하이드와 미연소 메탄올)를 정화시킬 수 있는 촉매를 제안하고자

첫째, 기존의 가솔린 엔진용 삼원 자동차 촉매에 새로운 활성금속 성분으로 은을 추가 담지시켜, 모조 배가스 흡성에 의한 촉매의 활성도 측정방법인 0차 screening Test를 실시한 후 그 성능을 상업용 삼원 촉매 및 독일 메탄올엔진용 촉매와 비교, 검토하고

둘째, 활성결과를 표면 현상학적으로 규명해 보기 위해, X선회절분석법(X-ray diffraction)를 이용하여 각 촉매의 표면 조성을 비교 검토하고, 촉매 표면구조의 변화 여부에 따라 포름알데하이드 및 메탄올의 전환능력이 어떻게 변화하는가를 알아보고자 촉매 비표면적(BET surface area), 기공분포, 평균기공 반경 및 기공 부피를 측정해 보았다.

이상으로부터 간단한 절차의 변형에 의한 은담지 삼원촉매를 제조하여 저온시동시 메탄올 엔진 배기가스 정화용 촉매로 제안하는 것을 주요 연구 목적으로 하였다.

2. 실험

2.1 촉매의 제조

은 촉매의 경우 담체로서 기존의 벌집형(honeycomb type)의 가솔린엔진 배기가스 정화용 삼원 자동차 촉매를 사용, 습식 담지법(wet impregnation method)에 의해 은의 금속염 형태인 질산은을 2차 증류수에 용해시킨 후 이를 담체위에 담지시켰으며

Table 2. Catalysts list.

Catalysts	loading(wt%)		Impregnation method
	Ag		
3-way catalyst	-		
German Catalyst	Front(1)	-	
	Rear(2)	-	
Ag/3-way Cat.	2% Ag	2wt%	wet
	5% Ag	5wt%	wet
	10% Ag	10wt%	wet

Table 1. Formaldehyde emission in methanol and gasoline engine with 3-way catalyst(mileage ; 4,000 to 6,000).

Engine	Formaldehyde(FTP-75, unit : mg/mile)	
	cold	warm
Methanol engine (CR = 12.5)	14.8	2.3
Gasoline engine (CR = 10.0)	3.7	2.5

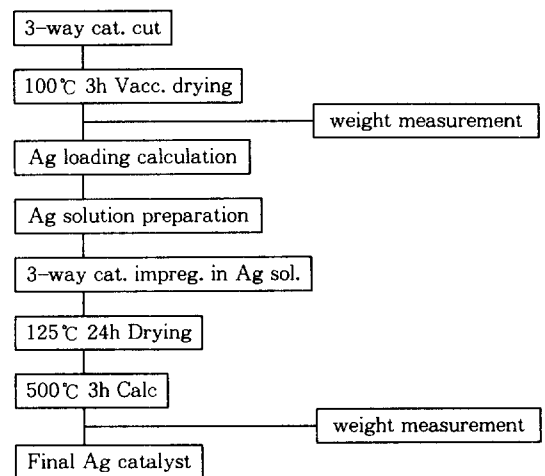


Fig. 1. Silver catalyst modification flow chart.

자세한 절차는 그림 1과 같다. 본 실험에 사용된 촉매들은 표 2와 같다.

2.2 0차 screening test의 반응 조건 및 분석방법
반응 조건

제조된 촉매들의 활성측정은 그림 2와 같은 모조 배가스 합성장치와 촉매반응장치를 자체 제작하여 실시하였다. 이때 반응기는 멀티컨버터(multiconvertor)를 통한 1차 screening test를 위해 멀티컨버터(multiconvertor)의 챔버(chamber)와 같은 크기인 1인치 석영 반응기로 제작, 사용하였으며, 촉매 충전층 상하에는 석영구를 충전하여 예열 및 후열 부위로 사용하였다. 또한 K형의 열전대를 촉매층 하단부에 설치하여 실험이 진행되는 동안 촉매층 표면의 온도를 감지하였다. 반응물로는 질소를 운반기체로 하여 CO : 2000ppm, C₃H₈ : 125ppm, HCHO : 861ppm, CH₃OH : 1722ppm, O₂ : 0.45vol %의 모조 합성된 배가스를 사용하였으며, 공간속도(space velocity)는 3000hr⁻¹, 반응온도는 100℃부터 500℃까지 100℃ 간격으로 각 온도별 활성능력을 측정하여 보았다. 한편 메탄올 엔진 배가스의 주요성분인 포름알데하이드와 메탄올을 발생시키기 위해 포름알

데하이드의 액상 형태인 포르말린(35wt% HCHO, 7wt% CH₃OH)을 시료미량주입기(Syringe pump)를 이용하여 일정속도(0.49cc/hr)로 반응장치 내에 주입하였으며 이의 장치 내에서의 효과적인 기화 및 응축방지를 위해 장치의 모든 스테인레스관들은 가열선을 장착하여 140~145℃로 유지하였다.

분석방법

반응물의 성분중 주요성분인 포름알데하이드, 메탄올, 프로판의 분석은 HEWLETT PACKARD 5890 SERIES II CHROMATOGRAPHY를 사용하였으며, column은 Porapak Q와 Carbowax 20M을 직렬로 연결하여 각 반응물 성분들을 분리하였고, 검출기로는 열전도도 검출기(thermal conductivity detector)를 이용하였다. 일산화탄소와 O₂분석에는 미국 ENERAC 2000 가스분석기와 일본 Cosmos Co. Model No. Xo-326A의 디지털 산소 분석기를 각각 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 각 촉매별 HCHO 정화 능력 비교

각 촉매별 시간 의존성 실험 결과

각 촉매들의 반응시간에 따른 HCHO 전환능력을 비교하여 보고자 촉매층 온도 100℃와 400℃의 두 조건에서 반응물 가스 도입 후 100분 경과 후까지의 각 촉매별 HCHO 전환율을 상호 비교하여 보았다.

저온시동조건(100℃)시의 시간에 따른 전환율

그림 3에 저온시동시의 메탄올 엔진 배가스 조건으로 임의 설정한 촉매층 온도 100℃에서 각 촉매들의 HCHO 산화능력을 비교하여 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 기존의 상업용 삼원촉매는 반응시간이 30분이 경과하여도 전환율이 20%에도 미치지 못하는 매우 열악한 산화능력을 나타내고 있다. 이로부터 메탄올을 연료로 사용할 경우 저온시동시의 주요 배기오염물질인 HCHO를 제거하기 위해서는 기존의 삼원촉매로는 불가능하며, 이에 적절한 금속성분의 추가가 필요함을 알 수 있었다. 이와는 대조적으로, 독일 촉매 앞쪽(1)과 뒷쪽(2)의 경우는 반응시간 30분 경과 후 80% 이상되는 매우 우수한 HCHO 산화능력을 보였는데 이로부터 현재 사용되고 있는 독일촉매가 본 반응에 우수한 산화능력을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 한편, 본 연구실에서 제조한 은 촉매의 경우는 은의 담지량에 따라 HCHO 산화력의 차이를 보였으며, 이중 5wt

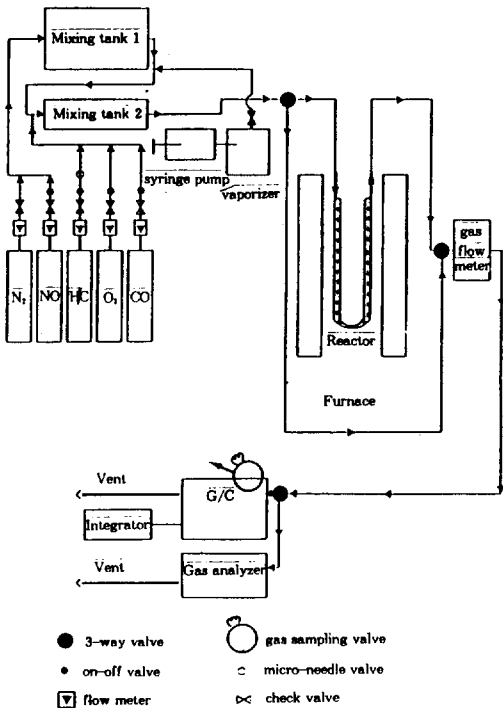


Fig. 2. Schematic diagram of zero screening test unit.

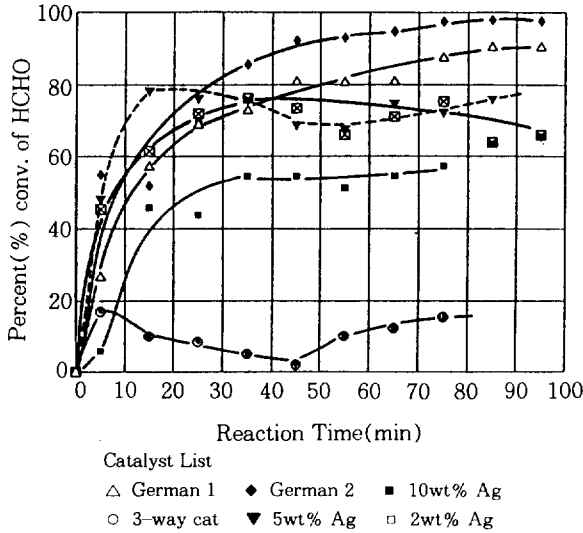


Fig. 3. Percentage conversion of HCHO as a function of time over various catalysts at cold start condition (cat. temp. 100°C).

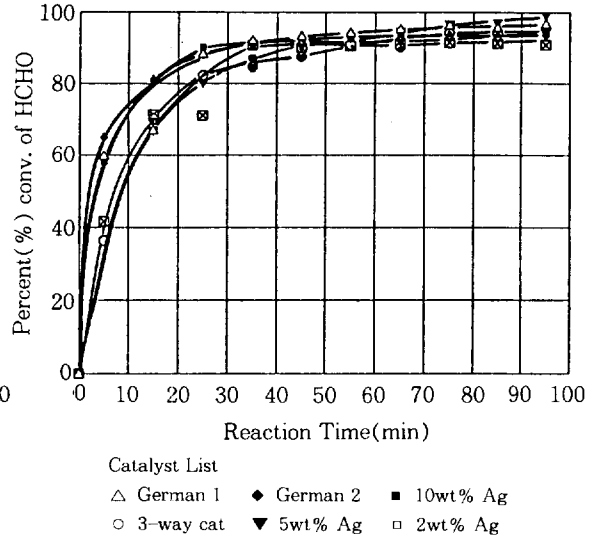


Fig. 4. Percentage conversion of HCHO as a function of time over various catalysts at hot run condition (cat. temp. 400°C).

% 은담지 삼원촉매의 경우는 반응시간이 15분 만 경과하여도 독일 촉매보다 우수한 약 80%의 HCHO 전환율을 보이는 것을 볼 수 있다. 즉 새로운 금속 성분인 은을 기존 삼원촉매에 담지할 경우 저온시동시의 HCHO 산화능력이 매우 향상됨을 알 수 있었으며, 은담지 정도에 따라 현재 메탄올 자동차에 사용되는 기성 촉매보다도 우수한 활성을 보인다는 것을 알 수 있었다.

가열운전조건(400°C)시의 시간에 따른 전환율

그림 4는 충분한 주행 후의 배가스온도를 400°C로 설정하여 그때의 각 촉매들의 HCHO 산화능력을 비교한 것이다. 촉매층온도 400°C의 가열운전조건에서는 HCHO의 전환율이 촉매의 종류와는 무관하게 모두 짧은 시간 내에 100%에 근접하는 것을 볼 수 있다. 이로부터 시동을 걸어 포름알데하이드가 다량 배출되는 저온시동구간(촉매층온도 100°C~200°C)을 넘어서면 촉매별 전환능력은 큰 차이없이 모두 다 우수함을 알 수 있다.

각 촉매별 온도 의존성 실험 결과

각 촉매들의 반응온도에 따른 HCHO 전환능력을 비교하여 보고자 각 온도별로 모조 합성된 반응 가스를 도입하여 반응개시 15분 후의 촉매별 HCHO 제거효율을 상호 비교하여 보았다.

상업용 3원촉매 및 독일 메탄올 엔진 배기가스 정화용 촉매와 5wt% 은담지 3원촉매의 활성 측정결과

그림 5에는 기존삼원촉매와 독일 촉매와의 각 반응온도별 HCHO 산화능력을 비교 도시하였다. 기존 삼원촉매의 경우 반응온도 300°C까지의 저온에서는 전환율이 60% 이하로 저조하였으며, 독일 촉매의 경우 고온으로 갈수록 점차 증가 추세를 보였는데 300°C 이하의 저온에서는 약 70%의 전환율을 보였으며 특히 100°C와 200°C의 저온시동 조건하에서는 삼원촉매의 약 3배 이상의 우수한 HCHO 전환능력을 보였다.

반면 5wt% 은담지 삼원촉매의 경우에는 HCHO의 전환율이 약 90%에 접근하였으며, 특히 100°C에서 독일 촉매의 약 2배, 3원촉매의 약 5배에 해당하는 매우 우수한 HCHO 전환능력을 보였다. 이로부터 저온시동조건으로 설정한 100°C에서 15분만 경과하여도 은촉매는 순간적으로 HCHO 산화활성이 나타나며 기존 독일 촉매보다도 월등히 뛰어난 것을 알 수 있었다. 이러한 결과들로부터 삼원촉매는 저온시동시의 다량배출되는 포름알데하이드 제거용 촉매로는 적합치 못하다는 것을 알 수 있었다.

은담지량 변화에 따른 활성 측정결과

실험실 내에서 자체 제작한 은 촉매의 담지량 차이에 따른 HCHO 전환능력을 기존의 삼원촉매와 비교하여 보았다. 그 결과는 그림 6과 같이 최적 담

지량으로 판명된 5wt% 은담지 삼원촉매가 반응온도 300℃까지의 결과에서 가장 우수하였고 5wt% 은촉매 > 2wt% 은촉매 > 10wt% 은촉매 > 기존 삼원촉매의 순으로 전환능력이 나타났다. 이로부터 은담지량이 증가할수록 저온시동시의 HCHO 제거효율은 증가하나 과량이 담지되어 10wt%에 이르르면 담체표면에 고른 분포가 어려워져 균대균데 금속덩어

리들이 형성되어 기공을 막아버려 촉매 비표면적이 줄고 그만큼 반응에 참여할 수 있는 기회가 작아져 오히려 활성이 저하되는 것으로 생각되며 이는 X선 회절분석 및 촉매 비표면적 측정결과에서도 입증되었다. 따라서, 이러한 결과들로부터 최적 은담지량은 5wt%라는 것을 알 수 있었다. 단 500℃의 가열 운전조건시에는 은담지량이 증가할수록 HCHO 전환율이 증가하는 것을 볼 수 있는데 이는 은이 소결(sintering)에 의해 손실되며 따라서 높은 은담지량의 촉매일수록 촉매상에 잔존하는 은이 많아 높은 전환율을 보이는 것으로 생각한다. 이에 대해서는 추가의 연구가 필요하리라 본다.

3.2 각 촉매별 CH₃OH 정화능력 비교

메탄올 자동차에서의 주 공해물질중 미연소메탄올도 다량 배출되며, 메탄올 자동차용촉매는 이러한 미연소 메탄올에 대한 제거활성도 필요하게 된다. 따라서 시간에 따른 각 촉매별 메탄올 산화능력을 상호 비교하여 보고자 포름알데히드의 시간의존성 실험과 같은 절차로 0차 screening test를 실시하였다.

저온시동조건(100℃)시의 시간에 따른 전환율

저온시동조건에서의 메탄올 전환능력을 실험하여 보고자 우수한 HCHO 산화능력을 보였던 2wt%와 5wt% 은담지 삼원촉매에 대하여 100℃ 반응온도에 대하여 시간의존성 실험을 실시하여 보았다. 그림 7과 같이 2wt% 은담지 삼원촉매의 경우 메탄올 전환율은 반응시간 30분 경과 후 100℃에서는

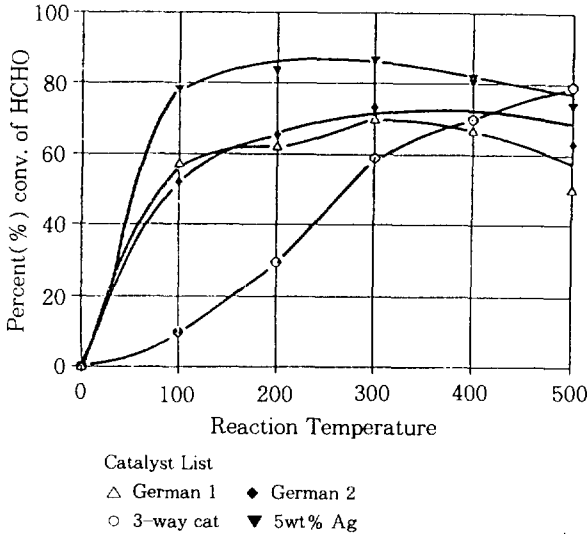


Fig. 5. Percentage conversion of HCHO as a function of temperature over german, 3-way and 5wt% Ag/3-way Catalyst.

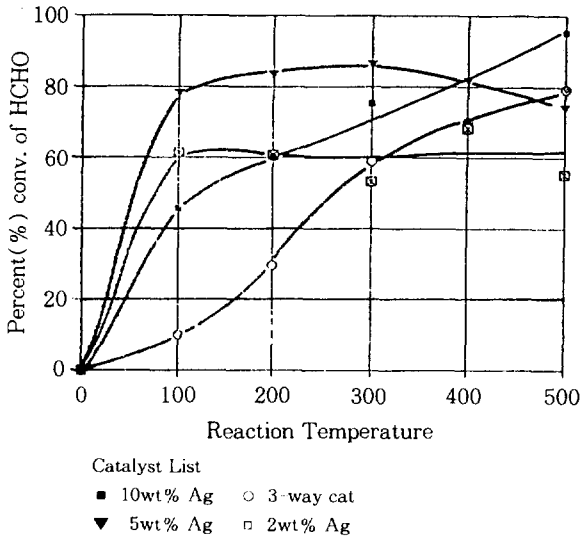


Fig. 6. Effect of different Ag loading on catalytic conversion of HCHO as a function of temperature.

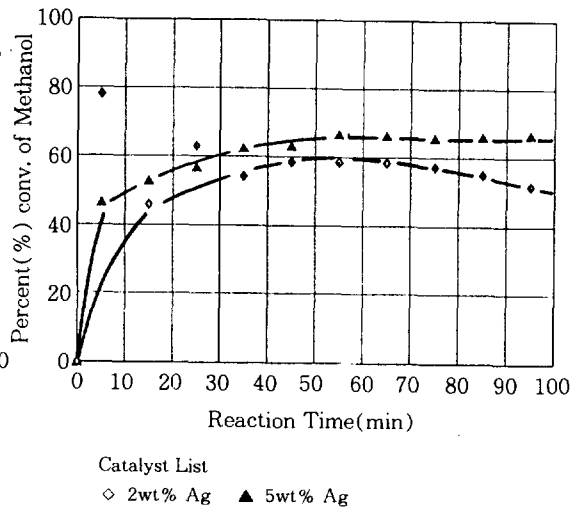


Fig. 7. Catalytic conversion of CH₃OH at catalyst temperature 100℃ over 2wt%, 5wt% Ag/3-way Catalyst.

약 50%의 전환율을 보였다. 또한 5wt% 은담지 삼원촉매의 경우에는 반응시간 30분 경과 후 100°C에서 약 70%의 메탄올 전환율을 보였으며 2wt%의 은담지 삼원촉매에 비해 반응시간이 길어질수록 매우 안정된 전환 양상을 보였다. 이로부터 메탄올 제거효율에 있어서도 5wt% 담지 삼원촉매가 우수함을 알 수 있었다.

가열운전조건(400°C)시의 시간에 따른 전환율

모든 촉매들의 메탄올 전환율은 매우 우수하였으며, 특히 반응물 가스 도입 후 5min에서의 전환율은 5wt% 은담지 삼원촉매가 약 90%로 가장 우수하였다. 그 결과는 그림 8과 같다. 이상의 결과로부터 메탄올 자동차의 주요 배출공해물인 HCHO와 미연소 메탄올을 효율적으로 산화·제거하기 위해서는 앞서 관찰한 바와 같이 모든 부분에서 우수한 활성을 보인 5wt% 은담지 삼원촉매가 가장 최적임을 알 수 있었으며, 따라서 이에 대한 지속적인 연구가 보다 필요할 것으로 생각된다.

3.3 촉매 특성화 실험 결과

독일촉매의 XRD 분석 결과

현재 독일에서 상업적으로 사용되고 있는 메탄올 엔진 배기가스 정화용 촉매의 주요 활성금속성분을 알아보려고 X선 회절분석법(XRD)을 이용하여 그림 9의 결과와 같이 주요 성분을 알아보았다. 그 주요 성분으로는 주로 기존의 귀금속성분인 Pd, Rh과

산소 저장기능을 발휘하는 Ce, 그리고 특이하게 La과 다량의 Zr이 담지된 매우 복잡한 성분의 촉매임을 알 수 있었다. 이 결과로부터 독일 촉매의 앞쪽(front)은 주로 Pd를 이용한 산화활성을(CO, HC의 제거), 뒷쪽(rear)은 은을 추가하여 HCHO를 제거하기 위해 제조된 것으로 생각된다.

상업용 삼원촉매와 5wt% 은담지 삼원촉매의 XRD 결과

기존 상업용 가솔린엔진 배기가스 정화용 삼원촉매와 실험실 내에서 제작한 은 촉매의 성분 분석을 위하여 X선 회절분석법(XRD)을 실시해 본 결과 그림 9와 같이 삼원촉매는 Pd, Rh이 주요 활성성분을 알 수 있었으며, 은 촉매의 경우 촉매표면에서의 성공적인 은의 담지상태(결정면(200))를 확인할 수 있었다.

각 촉매들의 비표면적(BET Surface area) 측정결과 앞서의 활성편에서 얻어진 활성증가의 원인들을

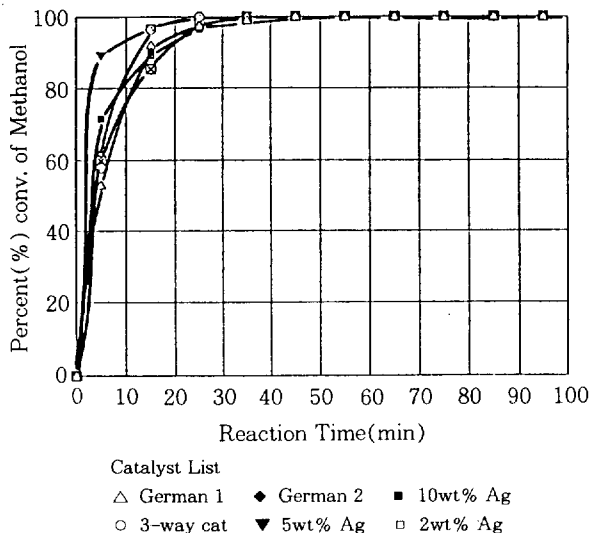


Fig. 8. Percentage conversion of CH₃OH as a function of time over various catalysts at hot run condition(cat. temp. 400°C).

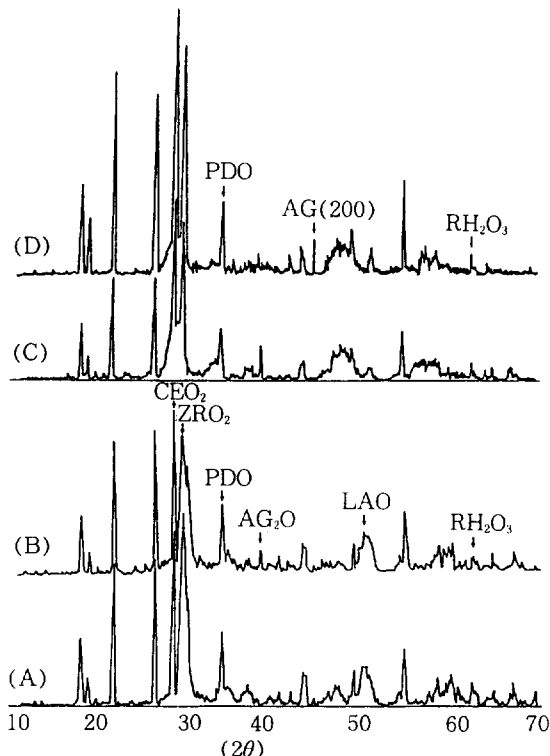


Fig. 9. X-ray diffraction patterns of (A) german catalyst 1. (front) (B) german catalyst 2. (rear) (C) commercial 3-way catalyst. (D) 5wt% Ag/3-way catalyst. : (fresh catalysts).

Table 3. BET surface area of each catalyst.

Catalysts	S_{BET} (m ² /g)	r_p (nm)	V_p (cc/g)
5wt% Ag/3-way	137	4.8nm	0.16(cc/g)
10wt% Ag/3-way	116	5.2nm	0.15(cc/g)
3-way	137	4.7nm	0.16(cc/g)
German 1(front)	137		
German 2(rear)	139		

간접적으로 확인해 보고자 각 촉매들의 비표면적, 기공부피 및 평균기공반경을 측정해 보았으며 그 결과를 표 3에 나타내었다. 삼원촉매와 독일 촉매의 경우 표면적이 거의 동일함을 알았으며 5wt% 은담지 삼원촉매의 경우에도 비표면적의 변화가 없는 것으로 보아 담체 위에 은이 아주 고르게 담지되어 있음을 알 수 있었으며 이로 인해 충분한 은 담지 효과가 활성에 있어서 나타난 것으로 생각된다. 반면에 10wt% 은담지 삼원촉매의 경우는 표면적이 약 20% 감소하였는데 이는 과도한 은 담지로 촉매 표면에서 은이 군데군데 덩어리(Cluster)를 형성하고 있거나, 주요 활성이 발생하는 미세기공을 담지된 은이 막아 버리는 미세기공막힘(micro pore plugging) 현상에 기인한 것으로 예상되며, 따라서 반응에 참여하는 금속성분의 수가 감소됨으로 인해 촉매활성이 저하되는 것으로 생각된다.

상업용 삼원촉매와 5wt%, 10wt% 은담지 삼원촉매의 PSD 측정 결과

앞서의 BET결과에 대한 추론을 입증하고자 기존의 삼원촉매와 실험실에서 제작한 5wt%와 10wt%의 은담지 삼원촉매의 기공크기 분포도(PSD)를 알아보았으며 그 결과를 그림 10에 나타내었다. 10wt% 은담지 삼원촉매의 경우는 기공크기가 10에서 60nm 인 영역에 걸쳐 현저한 기공부피의 감소를 보였으며 미세기공이 손실됨에 따라 평균 기공크기는 약간 증가 하였다. 따라서 이러한 현상으로 인해 촉매 활성이 감소했음을 다시한번 확인할 수 있었다. 5wt% 은담지 삼원촉매의 경우에는 담체로 사용된 삼원촉매와 거의 동일한 기공크기 분포도 양상을 보였다. 또한, PSD의 동일한 양상으로 미루어 볼 때 은 촉매 제조시의 2차 건조 및 성성이 삼원 촉매의 기본 구조 및 기공의 형태에 영향을 미치지 않았음을 알 수 있었다. 이상의 결과를 종합해 보았을 때 5wt% 은담지 삼원촉매가 촉매물성면에서 삼원촉매와 차이가 없으며, 이로 인해 촉매활성에 있어서도 가장 우수한 능력을 보이는 최적 촉매라는 것을 알 수 있었다.

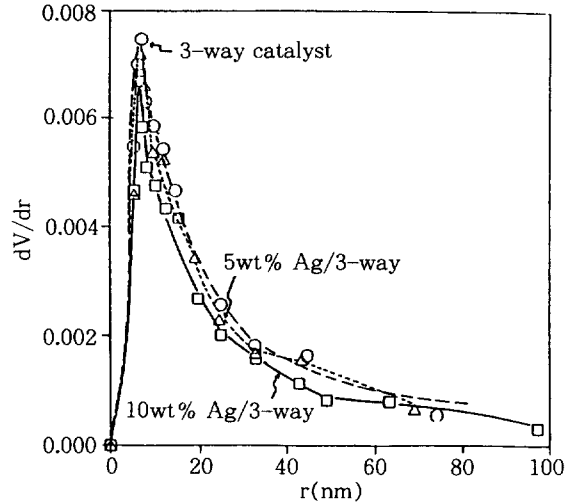


Fig. 10. Co-plotting of pore size distribution for 3-way cat., 5wt% & 10wt% Ag/3-way Catalysts.

4. 결 론

메탄을 자동차의 주요 배가스 성분인 HCHO 및 미연소메탄올을 제거하기 위해 기존의 상업용 삼원자동차촉매, 독일에서 상업화된 메탄올 엔진용 삼원촉매 및 다양한 은담지 삼원촉매들의 모조 배가스 합성에 의한 0차 screening test 및 촉매특성화 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 실험실 자체 내에서 제작된 다양한 은촉매들의 활성 실험 결과 최적의 담지량은 5wt%임을 알았으며 이는 특히 저온시동시의 조건에서 독일 촉매보다도 우수한 포름알데히드와 메탄올 전환능력을 보였다.

2) 이러한 5wt% 은담지 삼원촉매의 우수한 메탄올 및 포름알데히드의 저온활성 능력은 촉매비표면적(BET surface area) 및 PSD 측정결과로부터 촉매표면 위에서의 은의 고른 분산도와 10wt% 은담지 삼원촉매에서 나타난 과량의 은담지에 따른 미세기공막힘(micro pore plugging) 현상 및 기공구조의 변화가 발생되지 않은 결과에 기인함을 알 수 있었다.

3) X선 회절분석(XRD) 결과 은담지 삼원촉매의 담체로서 사용된 기존 3원촉매의 주요 성분이 Pd와 Rh임을 알았으며, 은촉매 표면 위에서의 성공적인 은의 담지 상태를 확인하였다.

이상의 결과로부터 가솔린 엔진 배기가스 정화용 삼원촉매에 간단한 절차의 변형방법에 의해 제조된

은담지 삼원촉매가 메탄올 엔진용 촉매로서 특히 저온시동시 HCHO 및 미연소메탄올 제거용 촉매로 사용 가능성이 매우 높음을 발견할 수 있었다.

〈감 사〉

본 연구를 후원하여 주신 기아자동차(주) 관계자 여러분과 분석장비를 지원하여주신 경희대학교 연구·실험 지원센터측에 감사드리는 바입니다.

참 고 문 헌

- 이성열 (1989) 대한기계학회지, Vol. 29, No. 6.
 Eugne E. Ecklund (1978) SAE paper No. 780459.
 Karl H. Hellman et al. (1990) SAE paper No. 901112.
 Dennis et al. (1991) Analy. Chem., vol. 63, no. 23, December 1.
 Holger Menrad et al. (1988) SAE paper No. 881196.
 McCabe R. W. et al. (1986) Appl. Catal., 27, 83.
 McCabe R. W. et al. (1987) J. Catal., 103, 419.
 McCabe R. W. et al. (1988) App. Catal., 44, 82.
 Gandhig. H. S. et al. (1989) App. Catal., 47, 17.