

디젤기관에서 산소과급 및 Cooled-EGR에 의한 성능 및 배출가스 특성에 관한 실험적 연구

류 규 현^{*1)} · 한 영 출²⁾

인천시립전문대 기계설계과^{*1)} · 국민대학교 기계 · 자동차공학부²⁾

An Experimental Study on the Characteristics of Performance and Exhaust Gas Emission with Charging Diesel Engine on Oxygen-enriched and Cooled-EGR

Kyu-hyun Rhu^{*1)} · Young-Chool Han²⁾

^{*1)}Department of Mechanics and Design Engineering, Incheon City College, Incheon 402-750, Korea

²⁾Department of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(Received 7 October 2002 / Accepted 14 December 2002)

Abstract : Recently, The world is faced with the very serious problems related to the increasing use of the conventional petroleum fuels. The air pollutions in big cities have been occurred by the exhaust emissions from automobiles. Many researchers have been attracted various oxygen-enriched for the measure of these problems.

In this study, Oxygen-enriched air supplied to a diesel engine has significant benefits in reducing the particulate matter emission but detects in increasing the NOx.

This study concluded that the oxygen-enriched and cooled-EGR might be a good measure to reduce smoke, particulate emission and NOx in diesel engine.

Key words : Oxygen-enriched(산소과급), EGR(배기가스재순환), NOx(질소산화물), Particulste matter(입자상물질)

1. 서론

차량에서 배출되는 주요대기오염원¹⁾은 각종 연소과정에서 배출되는 물질들이고, 특히 가솔린기관에서 배출되는 유해성분들보다 디젤기관에서 배출되는 유해성분들의 종류가 많으며, 저감기술의 측면에서도 디젤기관의 유해성분 저감기술이 가솔린기관보다 뒤떨어져 있는 실정이다. 그러나 높은 열효율과 저급연료를 포함한 여러 종류의 연료를 사용할 수 있다는 장점과 장기간 사용에 대한 고장이

적고 신뢰성이 높은 특징 때문에 오늘날 그 수요가 점차 증가하고 있는 디젤기관 자동차의 경우 이산화탄소의 배출량도 적기 때문에 바람직한 동력원임이 입증되고 있으므로 이에 따른 오염물질에 대한 저감대책방안들이 다각적으로 모색되고 있다.

현재 대형 디젤기관의 주요 배출물질인 PM^{2,3)}에 관한 연구는 많은 진척을 보이고 있으나, NOx와 PM의 동시저감^{4,5)}에 대해서는 어려움을 가지고 있어 강화된 배기가스규제를 만족시키기 위해서는 특히, NOx와 PM에 대하여 동시에 저감할 수 있는 방법이 관건이다. 따라서 본 연구에서는 NOx와 PM의 동시저감을 위해 산소과급 및 Cooled-EGR을 적용함으

*To whom correspondence should be addressed.
a981015@mail.kookmin.ac.kr

로서 디젤기관의 배기가스특성 및 기관성능을 파악하고 배기가스규제 강화에 대응하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

2.1.1 실험기관

본 실험에 사용된 실험기관은 국내에서 생산되어 산업용 및 시너버스에 탑재되는 Turbo-charged 디젤기관을 대상으로 하였으며, 주요 제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Specifications of test engine

Model	DAEWOO D1146T
Type	In-line, 6 cylinders
Fuel injection	Direct injection
Aspiration	Turbo-charged
Bore & Stroke	111mm × 139mm
Compression ratio	16.7 : 1
Displacement	8,071 cc
Rated power	132kW / 2200rpm
Max. Torque	696Nm / 1200rpm

2.1.2 기관동력계 및 분석장치

250kW EC형 기관동력계(U.K, Froude consine limited)와 연료온도 조절장치, 냉각수 온도 조절장치, 흡입공기 유량계, 연료 유량계 등으로 구성된 측정장치를 Fig. 1에 나타내었다.

본 실험에 사용된 디젤기관 배기가스 측정장치

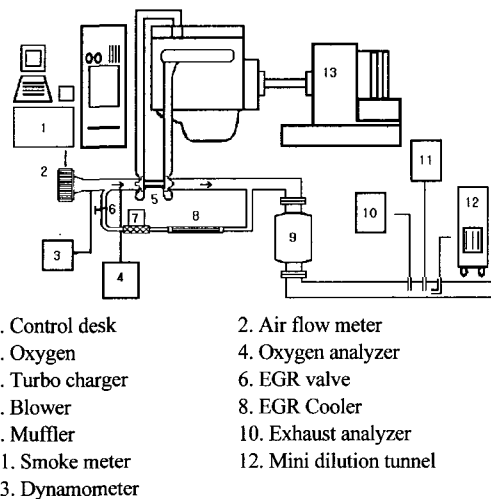


Fig. 1 Schematic diagram of experiment system

(Electra control co. DST210)는 배기가스 중 CO, HC, NOx 및 CO₂를 분석할 수 있으며, 매연은 현재 제작차 매연 검사방법으로 사용하고 있는 여지반사식 매연측정기를 사용하였고, 입자상물질은 테프론이 코팅된 유리섬유 여지에 포집하는 미니회석터널을 사용하였다.

흡입공기의 산소농도를 측정하기 위한 산소분석기의 제원을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Specifications of oxygen analyzer

Item	Specification
Model	320WP, NOVA
Ranges	0~25.0%, 0.1% O ₂
Accuracy and repeatability	± 1% of full scale
Output	4~20ma
Response time	8~10 seconds for 90% of step change
Operating temperature range	0 °C~40 °C

2.1.3 EGR 밸브 제어장치

본 실험에 이용한 EGR 밸브는 솔레노이드 밸브로 구동되는 4 스톱을 가지는 전자식 밸브이다. 솔레노이드의 개폐는 PC에서 보내는 신호에 의해 Control board를 통해 제어된다. 이러한 제어는 Cooled-EGR 밸브를 부착한 기관을 전자제어 하기 위한 방법으로 실험을 통해 배출가스의 추이를 각 조건별로 데이터화하여 토오크와 배출가스량을 고려한 Map 데이터를 PC에 저장하여 기과회전수와 Throttle position의 입력을 토대로 EGR량을 조절한다.

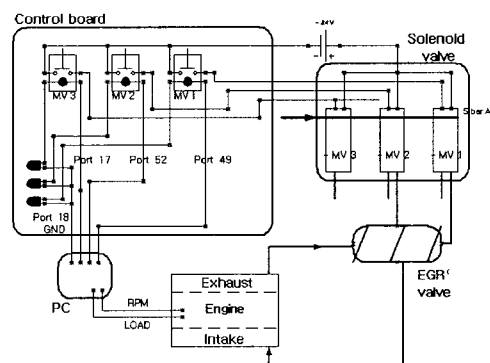


Fig. 2 Schematic diagram of Electronic EGR system

2.2 실험방법

2.2.1 기관성능실험

본 Cooled-EGR을 장착한 대형터보디젤기관에 산소과급에 따른 기관의 성능시험을 위한 조건은 먼저 기관회전수를 1000rpm에서부터 2200rpm까지 400rpm씩 변화시키면서, 전부하 조건에서 3분 동안 안정시킨 상태에서 30초 동안 데이터를 수집, 산술 평균하였다.

산소는 흡기구로부터 50mm떨어진 지점에 공급하고, 산소농도 측정은 흡기구로부터 500mm 지점에서 측정하였다. 산소농도는 Kashmir S. Virk⁶⁾ 등의 실험에서 제시한 NOx배출과 관련하여 최적 산소과급율에 의해 21%, 22% 및 23%에 고정하여 테스트를 실시하였으며, 각 기관 회전수에 따라 각각의 산소량을 조정하였다.

2.2.2 배기가스 성능실험

기관의 작동조건은 기관성능 측정시와 동일하며, NOx 및 매연 배출이 저부하보다는 고부하에 대하여 더 큰 영향을 받는 것을 감안, 전부하상태에서 각각 CO, THC, NOx 및 매연을 3분동안 20초간 데이터 수집하여 산술평균하였다.

PM은 PM측정용여지(Teflon coated glass fiber filter, ϕ 70mm)의 무게를 전자저울로 측정한 후 미니회석터널 필터홀더에 장착, 회석법으로 배기관에서 배기가스를 일정 유량 등속흡입하여 PM시료를 채취, 여지의 최종 무게를 측정하여 측정 전·후 무게 차이를 구하는 방법을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기관성능실험

전부하 상태의 기관회전수 1000rpm부터 2200rpm까지의 조건에서 출력 및 토크를 측정하였다. 본 실험에서는 산소분석기 Range와 Kashmir S. Virk⁶⁾의 자료를 바탕으로 과급율은 21%를 기준으로 최대 23%로 제한하여 얻어낸 실험 데이터만을 취하였다.

Fig. 3은 기관 회전수별 산소과급에 따른 출력의 측정결과를 Fig. 4는 EGR 량에 따른 출력, Fig. 5는 23%의 산소과급에서의 EGR 량에 따른 출력 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

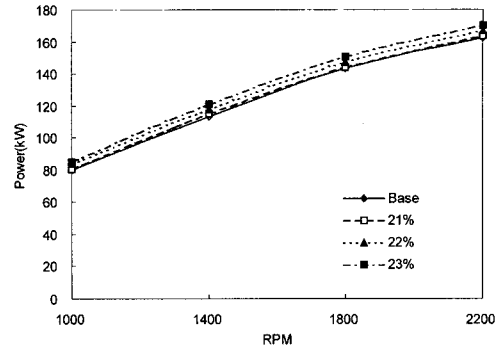


Fig. 3 Effect of oxygen enriched on power

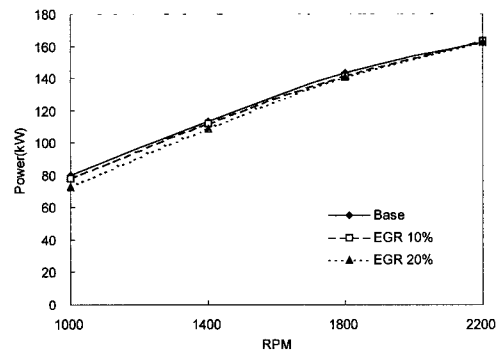


Fig. 4 Effect of EGR on power

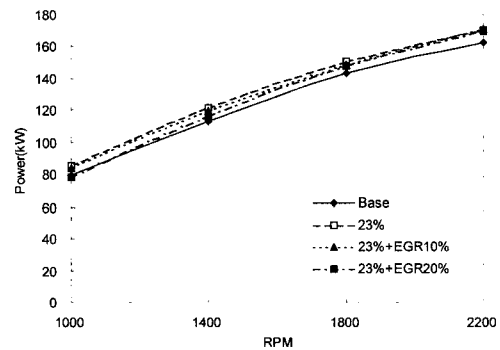


Fig. 5 Effect of oxygen enriched and EGR on power

전체적으로 흡입공기중의 산소질량에 지배를 받는 출력과 토크⁷⁾에 대하여 산소를 과급함에 따라 출력과 토크가 증가함을 확인할 수 있었는데, 산소 과급율 21~23%에서 평균적으로 각각 4~6%의 출력증가를 확인할 수 있었다. 또한 Cooled-EGR 적용시 EGR율이 20%로 증가함에 따라 평균적으로 1000rpm의 경우 8%, 1400rpm의 경우 4%, 1800rpm의 경우 1% 및 2200rpm에서 0.1%정도의 출력 감소

경향이 있음을 알 수 있었으며, 전체적으로 EGR을 상승에 따른 출력감소는 최고 1000rpm에서 8%정도로 20% EGR율이 출력에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있었다. 또한 23% 산소과급에서의 EGR을 적용할 경우 베이스에 비교하여 다소 증가하는 경향을 보였으나, 결과적으로는 산소과급과 EGR을 동시에 적용할 경우 기관의 출력에 큰 영향을 주지는 않음을 알 수 있었다.

3.2 배기가스 성능실험

3.2.1 입자상물질과 매연

Fig. 6과 Fig. 8은 산소과급에 따른 전부하 상태에서의 기관회전수별 입자상물질과 매연의 배출특성을 보여주고 있으며, Fig. 7과 Fig. 9는 산소함량 23%에서의 EGR율에 따른 입자상물질의 배출특성과 매연의 배출특성을 나타낸 것이다.

Cooled-EGR 적용시 EGR율의 증가에 따라 입자상물질과 매연이 증가함을 확인 할 수 있었다. 20%의

EGR을 적용시에는 Base기관의 배출량보다도 많은 입자상물질과 매연이 발생하며 10% EGR 적용시 23% 산소과급에서 입자상물질과 매연은 40~50% 감소함을 확인하였다. 이것은 David B. Kittelson⁸⁾의 연구에서 밝힌바와 같이 매연이 주로 생성되는 확산연소에서의 산소부족현상이 산소농도증가에 의하여 연소가 촉진된 것에 기인한다.

EGR을 10%~25%를 기관회전수에 따라 최적화한다면 최고 약 50%의 입자상물질과 매연을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

3.2.2 질소산화물

Fig. 10은 기관회전수를 1000rpm~2200rpm으로 고정된 상태에서 각 기관회전수마다 산소과급율을 21%~23%로 변화시켰을 경우의 NOx변화를 나타낸 그래프이며, Fig. 11은 Cooled-EGR을 적용하였을 때의 결과를 보이고 있다.

산소과급과 EGR을 적용한 경우 Base기관과 대비 5%~61%의 NOx저감율을 확인할 수 있었으며, 질

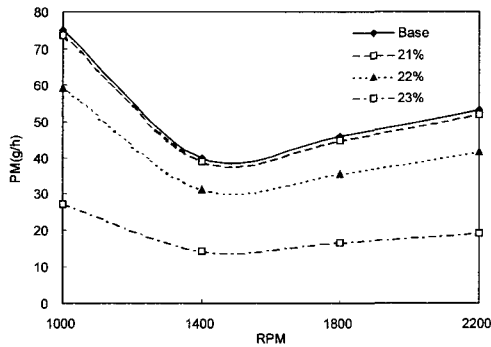


Fig. 6 Effect of oxygen enriched on PM emission

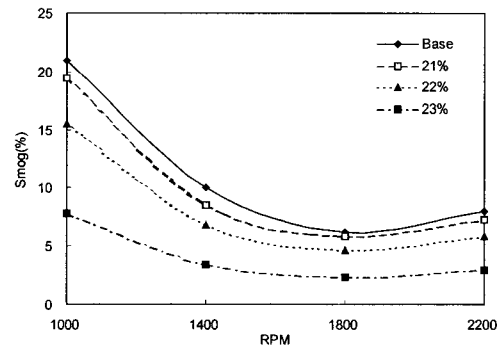


Fig. 8 Effect of oxygen enriched on smoke emission

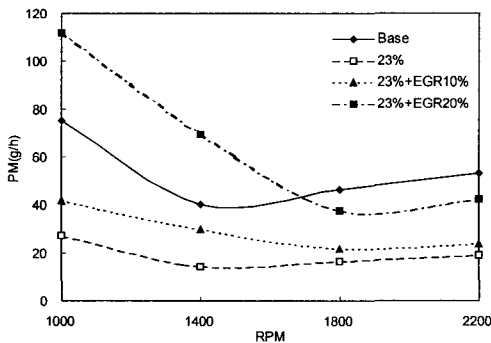


Fig. 7 Effect of oxygen enriched and cooled EGR on PM emission

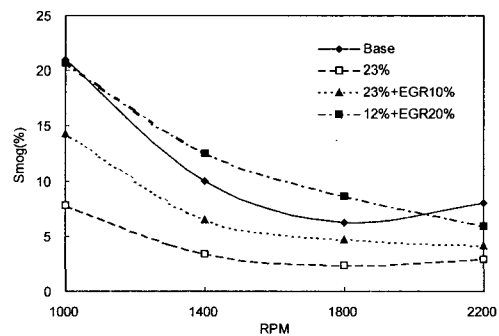


Fig. 9 Effect of oxygen enriched and EGR on smoke emission

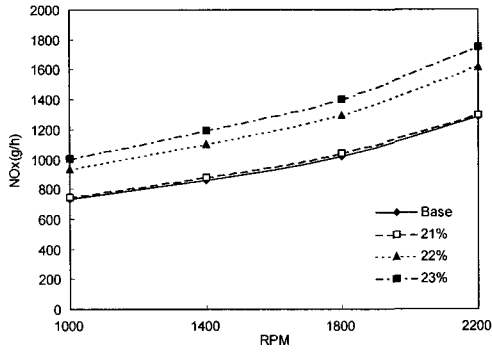


Fig. 10 Effect of oxygen enriched on NOx emission

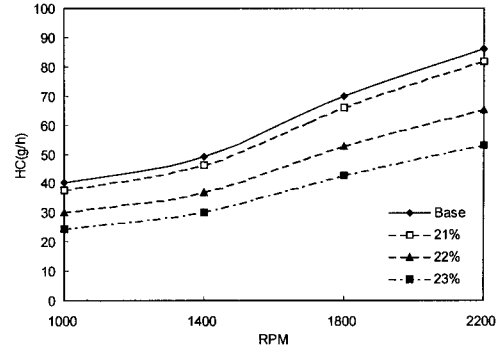


Fig. 12 Effect of oxygen enriched on HC emission

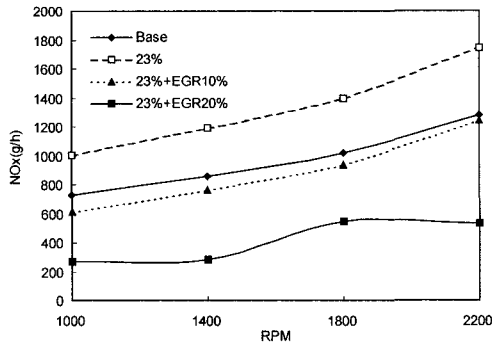


Fig. 11 Effect of oxygen enriched and EGR

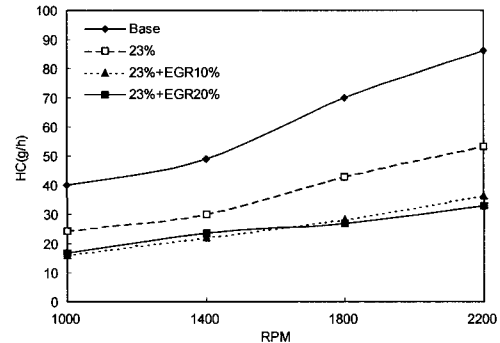


Fig. 13 Effect of oxygen enriched and EGR on HC emission

소산화물과 Trade-off 관계에 있는 입자상물질과 매연을 고려하여 23% 산소과급과 동시에 기관회전수 별로 10%~25%의 EGR율을 적용하였을 때 질소산화물, 입자상물질 및 매연을 동시에 저감할 수 있음을 알 수 있다.

3.2.3 탄화수소

Fig. 12는 산소과급에 따른 각 기관회전수별 HC 배출특성을 보여주고 있다. 전반적으로 산소과급을 증가에 따라 탄화수소는 감소하는 경향을 나타내었으며, 산소과급을 23%에 최고 34%의 저감을 보여주었다. Fig. 13에서 Cooled-EGR 적용시 Base 기관 대비 60%~70%의 HC 저감율을 확인할 수 있었다.

3.2.4 일산화탄소(CO)

Fig. 14는 산소과급을 증가에 따른 기관회전수 1000~2200rpm에서 일산화탄소의 배출특성을 나타낸 것이다.

산소과급율이 증가함에 따라 CO는 감소하였으

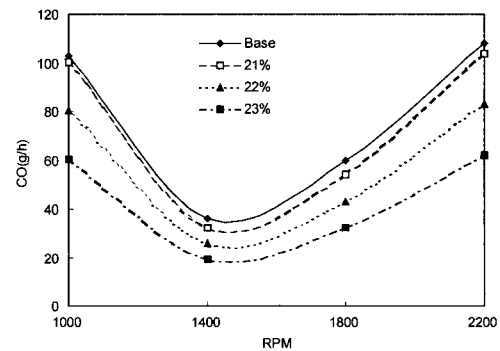


Fig. 14 Effect of oxygen enriched on CO emission

며, 이는 산소농도의 증가에 따른 CO의 산화반응의 촉진에 따른 영향이다. 본 실험에서는 산소과급을 21~23% 증가 시 Base기관 대비 16~33%정도 감소함을 보였으며, Fig. 15에서 산소과급과 EGR적용시 EGR량의 증가에 따라 CO배출량이 저속영역에서 최고 45% 이상 증가함을 확인할 수 있었다.

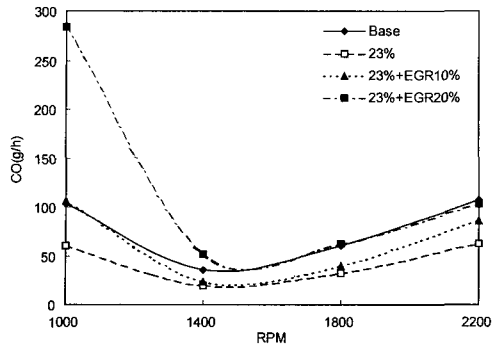


Fig. 15 Effect of oxygen enriched and EGR on CO emission

4. 결론

본 연구는 대형디젤기관에서 산소과급에 따른 기관성능 및 배기가스에 미치는 영향과 산소과급시 증가하는 NOx의 저감을 위하여 Cooled-EGR을 적용하고, EGR율을 전자제어하기 위한 기본실험으로서 실험결과는 다음과 같다.

1) 산소과급율이 증가함에 따라 전체적으로 출력과 토오크는 증가하였으며, 산소과급율 23%에서는 최고 6%의 출력증가를 보였다.

2) 흡입공기에 산소공급을 증가시킴에 따라 입자상물질 및 매연은 현저하게 감소하였으며, 흡입공기 산소농도가 23%에서 입자상물질은 최고 46%, 매연은 49% 저감됨을 알 수 있었다. 또한, HC와 CO는 산소과급율 23%에서 30%이상의 저감을 보였다.

3) 온도와 산소에 영향을 많이 받는 NOx는 다른 배기가스에 비해 증가하는 경향을 보였는데, 산소과급율 23%시 최고 15%까지 증가함을 확인할 수 있었으며, 증가한 NOx의 저감을 위하여 Cooled-EGR을 적용한 결과 20% EGR율에서 NOx는 Base기관 대비 60%정도의 저감을 얻을 수 있었다.

4) 20% EGR적용시 입자상물질과 매연의 증가를 동반하므로, 낮은 기관회전수조건에서는 10% EGR 조건으로 높은 기관회전수조건에서는 20% EGR 조건으로 운전하여 Base기관 대비 NOx는 5~17%, PM과 매연은 약 40%, HC는 60~70% 감소하는 결과를 얻을 수 있었다.

5) 산소과급과 Cooled-EGR을 동시에 적용하여 PM, 매연과 NOx를 동시에 저감하는 조건을 찾을 수 있었으며, EGR밸브의 제어방법도 모색하였다. 모든 운전조건에서 만족할 만한 배출가스의 저감을 위해서는 보다 다양한 조건에서의 실험과 산소공급에 있어 방법적인 발전이 뒷받침되어야 할 것이다.

후 기

이 논문은 2002년도 두뇌한국 21사업에 의하여 지원되었음.

References

- 1) Y. C. Han, D. J. Kim, *New Internal Combustion Engine*, Munundang, pp.179-203, 1998.
- 2) N. Uchida, Y. Daisho, T. Saito, H. Sugano, "Combined Effects of EGR and Supercharging on Diesel Combustion and Emission," SAE 930601, 1993.
- 3) H. Tsunemoto, "The Role of Oxygen in Intake and Exhaust on NO Emission. Smoke and BMEP of a Diesel Engine with EGR System," SAE 800030, 1980.
- 4) Y. L. Jung, "Automotive and Environment," Hansung University, pp.16-23, 1998.
- 5) G. S. Son, S. W. Yun, S. H. Ko, K. Y. Lee, "A Study of Aging of Oxygen Sensor(II)," Transactions of KSAE, Vol.9, No.1, 2001.
- 6) K. S. Virk, U. Kokturk, C. R. Bartels, "Effects of Oxygen-Enriched Air on Diesel Engine Exhaust Emissions and Engine Performance," SAE 931004, 1993.
- 7) J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, 1988.
- 8) D. B. Kittelson, M. J. Piphio, J. L. Ambs, L. Luo, "In-Cylinder Measurements of Soot Production In a Direct-Injection Diesel Engine," SAE 880344, 1988.