자동차 배출가스 규제를 위한 전생애평가 시스템 구축+
- The Development of the Life Cycle Assessment Systems for the Constraint of the Motor Vehicle Emission -

조재립*
Cho, Jai-Rip
김경훈*
Kim, Kyung-Hoon
김우식*
Kim, Woo-Sik

Abstract

Currently the problem of air pollution caused by the motor vehicle emission is of the most serious problems to be solved. Life Cycle Assessment is a process to evaluate the environmental burdens associated with a product or process by identifying and quantifying energy and materials used and wasters to the environment.

This paper establishes a Life Cycle Assessment Systems which satisfies the criteria motor vehicle emission for the automobile producers who are currently producing the automobiles with catalytic convert. This plan also considered the constraint of the effective motor vehicle emission by way of the exhaust gas recirculation, electronic fuel injection, closed loop carburetor. In order to develope the performance of the LCA systems, the recent emissions test data have also been applied.

The result of the development LCA systems has proved that the LCA plans presented in this paper satisfies the criteria motor vehicle emission and will be contributed to constrain the motor vehicle emission most effectively.

1. 서 론

1.1 연구배경

최근에 서울지역에 취해진 오존주의보는 대도시의 대기오염이 심각한 상태에 있음을 확인시켜주게 되었다. 이는 바로 그 주범이 자동차 배출가스로 판명된 셈이다. 오존은 결국 자동차 배출가스에서 발생하는 탄화수소와 이산화탄소가 햇빛의 자외선과 반응할 때 발생하며 오존농도의 상승은 폐기능장애 등 인체에 직접적인 피해를 주기 때문이다.

+ 이 연구는 '96년도 경희대학교 교비지원에 의한 결과임.

* 경희대학교 산학협력기술연구원 연구위원.
(Industrial Liaison Research Institute, Kyung Hee University)

자동차로부터 발생하는 오염물질을 저감시키기 위해서는 엄격한 허용기준을 설정하여 이 기준에 적합한 자동차를 만들어야 하며, 제작된 자동차가 배출가스 규제기준에 맞도록 제조되었는지 확인 및 관리되어야 한다.

자동차가 판매되어 사용자가 운행하게 되면 도로여건, 운전자의 운전습관, 정비점검 상태, 사용연료 및 사용시간과 같은 여러 조건에 따라 오염물질 배출량이 다르게 된다. 특히 장기간의 사용에 따른 배출가스 저감기능과 관련된 부품의 노화현상, 정비점검의 미흡, 임의조작 및 난폭운전 등은 더 많은 오염물질이 배출될 수 있으므로 합리적인 관리로 배출가스의 다량방출을 예방해야 한다.

한편 환경 문제는 환경라운드(GR)의 태동과 세계무역기구(WTO)의 출범 이후 환경오염 유발제품에 대한 무역규제 강화를 위한 국제 환경경영 표준화 작업을 진행하고 있다. 이에 따르면 국제 환경경영 표준화 기술위원회(Technical Committee 207 : TC 207)가 전생애평가(Life Cycle Assessment: SC 5)를 담당하고 있다. 이는 바로 모든 산업활동과 생활에서 물질 및 에너지의 사용을 최소화하고 폐기물의 배출량을 극소화하는 정책을 제품 및 서비스의 전과정에 확대하여 수행한다는 전략의 일환으로 개발된 기법이다. 이제 신제품의 기획단계, 개발단계, 생산단계, 사용단계 및 폐기단계까지 이 기법이 개발되고 사용되어야 함을 강조하고 있다.

본 연구에서는 이러한 배출가스 저감대책에 관련된 기술적인 문제와 관리적인 문제를 기획, 개발, 생산, 사용, 폐기단계에 이르기까지 에너지 소비를 최소화하고 배출가스량을 극소화하는 전생애평가 기법을 이용한 시스템을 개발하여 대기오염을 방지하고 환경부담을 극소화하는데 기여하고자 한다.

따라서 본 연구에서는 자동차 배출가스의 생성요인을 분석하고, 자동차 배출가스 저감 기술 및 관리에 대한 기술적인 문제와 관리적인 문제로 구분하여 체계적으로 검토한다. 우선 기술적인 문제는 (1) 가솔린 자동차의 배출가스 저감기술 방법으로 기관개량, 후처리, 증발가스 방지장치, Blowby가스 방지장치 등을 검토해 볼 수 있다. 다음으로 디젤 자동차의 경우는 기관개량과 후처리에 의한 배출가스 저감기술을 검토해 볼 수 있다. 한편 관리적인 문제로는 배출가스 허용기준과 시험방법, 신규 제작차에 대한 보증 및 인증시험, 제작차에 대한 배출가스 허용기준 검사, 결함시정 제도와 예방보전, 운행차에 대한 수시점검 및 검사, 배출가스가 환경에 미치는 영향평가, 배출가스가 인체에 미치는 영향평가 등에 대한 시스템적인 분석방법을 통해 배출가스 규제를 위한 전생애평가 시스템을 개발하고자 한다.

1.2 연구목적과 기대효과

자동차 배출가스 규제를 위한 기술적인 문제로 배출가스의 생성요인을 분석하면 그에 따른 저감기술을 단계적으로 설정하여 그 허용기준을 강화할 수 있다.

우선 가솔린 자동차의 경우에 배출가스 저감기술은 기관개량, 후처리, 증발가스 방지장치, Blowby가스 방지장치 등을 검토해 볼 수 있다. 다음으로 디젤 자동차의 경우는 기관개량과 후처리에 의한 배출가스 저감기술 등을 검토해 볼 수 있다.

한편 자동차 배출가스 규제를 위한 관리적인 문제로는 제작차의 배출가스 허용기준과 시험방법, 제작차에 대한 보증 및 인증시험, 제작차의 배출가스 허용기준 검사, 결함시정 제도와 예방보전, 운행차에 대한 수시점검과 검사 등을 검토해 볼 수 있다.

이러한 자동차 배출가스 규제를 위한 기술적인 검토사항들을 기획단계인 에너지의 사용으로부터 배출가스 생성요인을 분석하면 설계와 생산단계에서 저감기술에 대한 단계적인 규제기준을 설정하고 그 실행 여부를 확인 감시할 수 있는 기술적인 평가시스템을 개발할 수 있다. 또한 관리적인 검토사항을 기획단계인 에너지의 사용과 설계 및 생산단계의 단계적인 규제기준을 토대로 배출가스 시험을 통한 허용기준과 인증시험 및 검사를 수행할 수 있는 관리적인 평

가시스템을 개발할 수 있다. 한편 관리적인 검토사항의 일환으로 사용단계인 운행차량에 대한 결함시정 제도와 수시점검 및 검사를 통해 배출가스를 극소화 할 수 있는 관리적인 평가시스템을 개발할 수 있다.

본 연구의 목적은 기술 및 관리적인 배출가스 저감기술들에 대한 서브시스템 요소들을 기초로 기획, 개발, 생산, 사용 및 폐기의 각 단계에서 배출가스를 규제할 수 있는 전생애평가 시스템을 개발하여 구축하고자 한다.

본 연구를 수행하므로써 얻을 수 있는 기대효과는 (1) 배출가스 저감기술에 대한 기술수준의 향상과 기술개발에 기여할 수 있다. (2) 제작차량의 인증시험 및 검사를 효과적으로 수행할 수 있는 토대를 구축할 수 있다. (3) 운행차량의 수시점검 및 검사를 능률적으로 실시할 수 있는 기틀을 제공할 수 있다. (4) 전생애평가 기법을 활용함으로써 환경부담을 줄일 수 있는 새로운 기법으로 그 활용성을 제고할 수 있으리라 확신한다.

1.3 연구의 내용, 범위 및 방법

최근 전 세계적으로 가장 엄격한 배출가스 규제치를 시행하고 있는 미국 캘리포니아주가 지난 90년에 독자적으로 "파이럿프로그램" 이라는 자동차 배출가스 규제치를 만들어 시행에 돌입한 이래 배출가스 저감기술의 개발은 급진전되고 있다. 이 규제치는 6단계로 배출가스 규제치를 구분하고 있다. 그 내용을 보면 (1) 과거의 규제치 (2) 현재의 규제치 (3) 과도적 규제치 (4) 저공해 규제치 (5) 초공해 규제치 (6) 무공해 등 이다. 또한 이와 같은 분류를 기초로 캘리포니아주는 각국의 기업들이 주지역내에서 판매하는 전 자동차에 대해 "배출오염점수"를 부여하고 94년부터 이 점수의 평균치가 기준치 이상으로 초과할 경우 자동차 1대당 $ 5,000 이라는 엄청난 액수의 벌금을 부과하고 있다. 이 벌금은 사실상 규제기준을 초과한 차량의 판매를 금지시키는 효과를 발휘하게 될 것이다. 더욱이 이 점수는 매년 낮아지며 배출가스의 규제는 그에 따라 자연히 강화되어 94년도 도입시에 0.25점 이던 기준점이 2000년에는 0.09점으로 낮아지며 저공해차 0.075, 초공해차 0.04, 무공해차 0.0 점으로 내려간다.

본 연구에서는 대기오염의 주 요인인 자동차 배출가스의 규제기준을 강화하기 위해 필요한 저감기술 정보와 관리적인 정보를 수집하여 실현 가능성이 있고 선진국 수준과 같은 규제기준치를 단계적으로 설정하고 이를 준수하도록 함으로써 항구적인 대기오염 방지의 기틀을 마련하고자 한다. 그러나 배출량을 저감하기 위한 기술 및 관리적인 주 요인들은 현재 국제 환경규격으로 급 부상하고 있는 ISO 14000의 전생애평가 기법으로 접근해야 그 목표를 달성할 수 있기 때문에 이 기법을 이용한 전생애 평가 시스템을 개발하고자 한다.

우선 기획단계인 연료사용으로부터 배출가스 생성요인을 분석하면 개발.생산단계인 기술적인 검토 요인들은 다음과 같다.

1) 가솔린 자동차의 경우
   (1) 기관개량
   (2) 후처리장치
   (3) 증발가스 방지장치
   (4) Blowby가스 방지장치
2) 디젤 자동차의 경우
   (1) 기관개량
   (2) 후처리장치

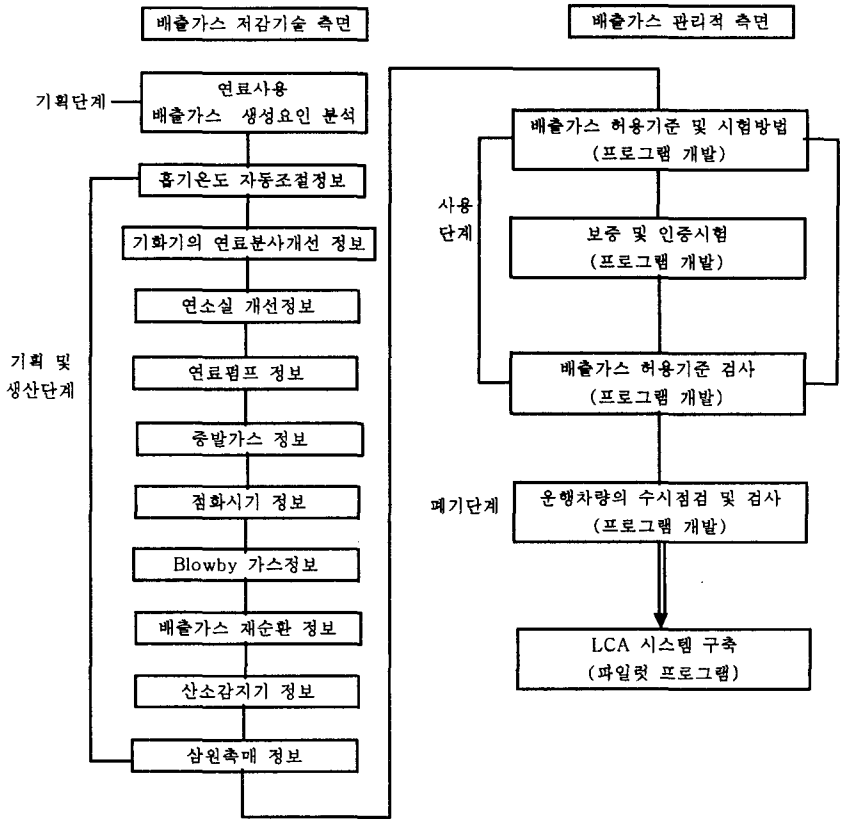
다음으로 사용단계인 배출가스 허용기준으로부터 폐기단계인 관리적인 검토요인들은 다음과 같다.

(1) 배출가스 허용기준과 시험방법

(2) 보증 및 인증시험
(3) 배출가스 허용기준 검사
(4) 결함시정제도 및 예방보전
(5) 운행차량의 수시점검 및 검사

한편 전생애평가란 미국의 코카콜라 회사의 Teasly(1969)가 천연자원과 환경에 영향을 미치는 음료수 용기에 대한 연구로부터 시작되었다. 그후 1970-75년 경에는 자원사용과 제품의 환경배출물에 대한 정량화(A Resource and Environmental Profile Analysis : REPA) 연구가 본격적으로 시작되었다. 이후 1988-현재는 REPA 연구를 전생애평가라 호칭하고 기술개발을 위한 중심집단으로 환경문제를 분석하는 수단으로 활용하게 되었다. 이를 세계무역기구(WTO)가 환경경영 표준화 작업의 일분야로 채택하여 환경 및 무역규제 수단으로 활용되고 있는 실정이다. 이는 바로 모든 산업활동과 생활에서 물질 및 에너지의 사용을 최소화하고 폐기물의 방출량을 극소화 하는 사용과 배출의 양면 극소화 정책을 전과정에 확대하여 수행한다는 전략의 일환으로 개발된 기법이다.

본 연구에서 수행하고자 하는 연구내용과 연구방법을 체계화하면 <그림 1>과 같다.
따라서 본 연구에서는 자동차 배출가스의 저감기술에 필요한 모든 기술적인 정보와 관리적인 정보를 기획단계인 연료사용으로부터 개발, 생산단계인 배출가스 저감기술 및 사용단계인 배출가스 허용기준, 시험방법, 인증시험, 허용기준검사, 운행차량의 수시점검 및 검사에 이르는 전생애평가를 통해 에너지 소비를 극소화하고 오염물질의 배출량을 극소화시키는 양면 극소화 정책을 실현할 수 있는 배출가스 규제를 위한 전생애평가 시스템을 개발하고자 한다.



<그림 1> 연구내용 및 방법의 체계도

2. 자동차 배출가스 저감기술 측면

열에너지를 이용하여 동력을 변환시키는 원동기를 열기관이라 하며 작용하는 유체에 열을 가하는 방법에 따라 내연기관과 외연기관으로 구분된다. 내연기관은 기관내에서 연료를 연소시켜 발생하는 열에 의한 유체의 팽창으로 피스톤을 움직이는 기관으로서 구조가 간단하고 가벼우며 높은 열효율을 얻을 수 있어 동력기관으로 여러분야에 이용되고 있다. 현재 자동차의 동력기관으로 많이 이용되고 있는 내연기관은 점화방식에 따라 불꽃점화기관과 압축점화기관으로 나누며 행정수에 따라 4 사이클기관과 2 사이클기관으로 나눈다. 한편 사용연료에 따라 가솔린기관(가스기관포함)과 디젤기관으로 나누기도 한다.

불꽃점화기관은 강력한 전기스파크에 의해 혼합기체를 점화시키는 것으로 휘발유, LPG, CNG 및 알콜과 같은 옥탄가가 높은 연료를 사용하는 기관에 이용되며 대부분이 4 사이클기관이며 소형기관(2륜자동차)에 2 사이클 기관이 사용되고 있다.

압축점화기관은 실린더 내에 공기만을 고압으로 압축시킨 후 연료를 미세한 상태로 분사시켜 연소시키는 기관으로 경유와 같은 세탄가가 높은 연료를 사용하는 기관에 이용되며 여기에는 4사이클기관과 2사이클기관이 있다.

1) 4사이클 가솔린기관(4사이클 불꽃점화기관)

이 기관은 일명 오토사이클이라 하며 다음과 같은 4개의 기본동작으로 나누어 생각할 수 있다.

(1) 흡입행정 : 피스톤이 상사점으로 부터 하사점으로 내려옴에 따라 공기와 연료의 혼합기체가 실린더 내로 흡입된다. 이때 흡입밸브는 열리고 배기밸브는 닫힌상태가 된다.

(2) 압축행정 : 흡입행정에 이어 피스톤은 하사점에 도달하고 이때 흡배기 밸브가 모두 닫힌 상태로 된다. 계속해서 피스톤은 상사점 까지 올라가면서 혼합기체는 압축된다. 여기서 실린더 내의 전 체적과 상사점 위의 연소실 체적과의 비를 압축비라 한다.

(3) 폭발 행정 : 상사점까지 압축된 혼합가스는 전기적 불꽃에 의하여 점화되면 급속히 연소가 진행되어 가스의 온도와 압력은 높아진다. 이상적으로 이 압력의 상승은 체적이 일정한 상태에서 열이 가해진다고 생각하여 정적가열 또는 정적연소라고 하며 이후 고온, 고압의 연소가스는 팽창하면서 피스톤을 내려 누른다. 이 행정은 4개의 행정 가운데 동력을 발생시키는 유일한 행정이다.

(4) 배기행정 : 배기밸브가 열리면 연소가스는 배기밸브를 통하여 대기 중으로 방출되어 압력이 내려가게 된다. 이후 가스는 얼마간의 압력이 있으나 구조상으로 피스톤은 더 이상 내려가지 못하고 피스톤의 상승과정에 따라 가스는 배출되어 처음의 상태로 된다. 이 행정에서 미쳐 나가지 못한 가스를 잔류가스라 한다.

2) 2사이클 가솔린기관(2사이클 불꽃점화기관)

이 기관은 일명 클러크사이클이라고도 하며 2회전 4행정을 하는 사이에 동력을 발생하는 행정이 1회 만인 4사이클 기관에 비하여 1회전마다 동력을 발생하는 기관을 2사이클기관이라 한다. 따라서 이 기관은 구조가 간단하고 경량으로 할 수 있어 이륜자동차와 같은 소형 기관에 사용되며 최근 연비향상을 위해서 소형 승용차 기관에의 응용이 연구중이다.

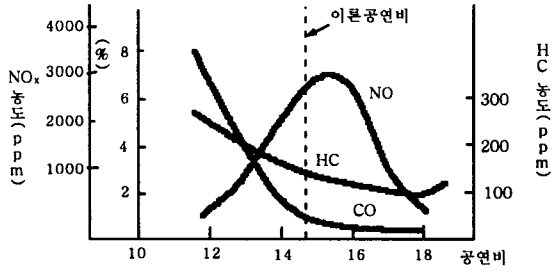
압축과정에서 피스톤이 상승하여 배기구멍을 막으면 실린더 내의 가스는 압축된다. 피스톤이 더욱 상승하여 피스톤에 의해 막혀있던 흡기구멍이 열리면 피스톤 아래쪽의 크랑크케이스에 기화기로부터 혼합기가 들어가게 된다. 이 작용은 피스톤의 상승행정의 후반에서 시작되어 피스톤이 상사점으로 부터 내려오는 행정의 전반까지 계속된다.

흡입 폭발과정에서와 같이 피스톤이 상사점에 이르면 점화 연소되어 피스톤이 크랑크축을 회전시키게 된다. 피스톤이 내려가기 시작하면 폭발배기 과정에서와 같이 배기구멍이 열려 배기가 시작된다. 조금 더 내려가 소기구멍이 열리면 크랭크 케이스 내의 혼합기가 배출과정에서와 같이 실린더 내에 들어가 연소가스를 압축하여 배기를 촉진시킨다. 피스톤이 더욱더 상승하면 소기구멍, 배기구멍의 순서로 닫아 압축이 시작된다.

3) 자동차 배출가스의 생성요인

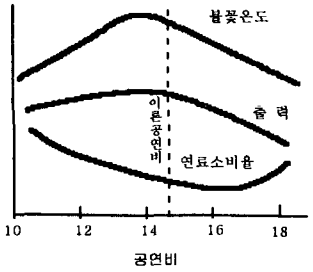
자동차로부터 배출되는 오염물질은 주로 배기관으로부터 배출되는 배출가스, 기관의 크랭크 케이스로부터 배출되는 blowby 가스 및 연료 탱크나 카브레타에서 배출되는 증발가스가 있다. 배기관으로부터 배출되는 것은 CO, HC, NOx, SO_2, 알데히드와 같은 가스상물질과 매연과 같은 입자상물질이 있다. 입자상물질에는 탄소성분, 고비점 탄화수소, 황산염 등이 함유되어 있다. Blowby 가스와 증발가스(evaporating gas) 중에 함유된 오염물질은 대부분 연료의 성분인 탄화수소로서 일반적으로 자동차 배출가스 대책이 되어 있지 않은 휘발유자동차에서는 전체 HC 배출량의 40%를 배출한다.

연료를 연소시키면 대부분이 무해한 N_2, CO_2, H_2O가 되지만 불완전 연소에 의해 CO 및 HC가 발생되고 또한 공기중의 질소와 산소가 연소실 내에서 고온으로 연소될 때 NOx가 발생한다. 그러므로 CO와 HC는 불완전연소시 많이 발생되고 NOx는 공기가 충분한 완전연소시 많이 발생된다. 이는 바로 가솔린기관 내에서 오염물질의 생성은 공연비와 밀접한 관계를 갖고 있으며 이러한 관계를 <그림 2>에 도시하였다. 여기에서 볼 수 있는 바와 같이 CO와 HC농도는 공연비가 낮으면 높고 이론공연비 보다 공연비가 높으면 현저히 낮아짐을 알 수 있다. 한편 NOx 농도에 있어서는 이론공연비 보다 다소 높은 점에서 최대가 되며 공연비가 낮거나 높아도 감소함을 알 수 있다.



<그림 2> 공연비와 배출가스 농도

가솔린 기관에 있어서 공연비가 18정도 이상의 높은 영역에서 연소가 일어나면 <그림 2>에서 보는바와 같이 CO, HC 및 NOx를 동시에 저감시킬 수 있으나 공연비가 높으면 출력이 저하되고 연료 소비량이 증가할 뿐만 아니라 실화가 일어나 HC가 증가되므로 희박연소기관과 같은 특수 연소기술을 적용하기 전에는 일반연소기관에 적용할 수 없다. 공연비와 불꽃온도 그리고 출력 및 연료 소비효율과의 관계는 <그림 3>과 같다. 여기에서 보는바와 같이 불꽃온도와 출력은 이론공연비 보다 조금 낮을 때 높다. 이는 혼합기 중의 연료가 이론치 보다 다소 많을 때 연소가 잘 일어나며 출력도 높다는 것을 의미한다. 그러나 기관의 출력은 이론 공연비 보다 다소 많을 때 연료소비효율이 좋다는 것을 알 수 있다.



<그림 3> 공연비와 불꽃온도 및 출력과 연료소비효율

3. 가솔린 자동차 배출가스 저감기술

배출가스 저감기술은 배출가스 규제정도에 따라 차이가 있으나 현재 우리나라와 선진국에서 적용하고 있는 엄격한 배출가스 규제를 만족시키기 위한 기술은 엔진개량기술과 후처리기술 및 연료의 질을 개선하거나 연료를 전환하여 오염물질의 배출을 억제하는 기술이 사용되고 있으며 이를 검토해 보면 다음과 같다.

1) 기관개량에 의한 배출가스 저감기술

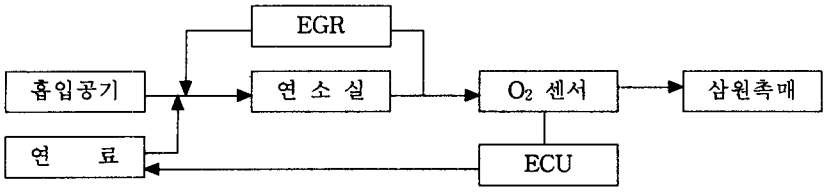
자동차 배출가스 규제가 엄격하지 않을 때에는 주로 기관의 개량에 의하여 배출가스를 저감시켜 왔었다. 이러한 기술의 주요 내용은 흡.배기계 및 연소실의 개선에 의하여 공기와 연료가 일정한 비율로 균일하게 혼합하여 완전연소가 되도록하는 기술이 적용되었다. 기관내에서 CO와 HC를 줄이기 위해서는 공연비를 이론 공연비 보다 높게하여야 한다. 그러나 공연비가 너무 높으면 출력이 떨어지고 연비가 악화되며 실화에의한 HC의 농도가 증가되는 경우가 있으므로 적절한 공연비를 선택하여야 한다.

한편 NOx는 연소실내의 높은 온도에 의해서 공기중의 N_2와 O_2가 반응하여 생성됨으로 이론공연비보다 조금 높은 공연비에서 제일 많이 발생한다. 그러므로 NOx를 줄이기 위해서는 연소시 가능한 산소농도가 낮고 연소농도가 낮은 상태로 유지해야 한다. 그러나 이러한 상태에서는 CO 및 HC의 배출이 많고 출력이 떨어지므로 주의 해야한다.

2) 후처리에 의한 배출가스 저감기술

자동차의 배출가스의 규제가 엄격해지면서 기관의 개량만으로는 규제치를 만족시킬 수 없기 때문에 기관의 개량과 아울러 후처리 기술에 의하여 오염물질을 저감시키고 있다. 다시말하면 기관의 개량에 의하여 오염물질을 가능한 저감시키고 그래도 배출되는 오염물질은 삼원촉매장치와 같은 후처리 장치에 의해 오염물질을 정화시켜 대기중으로 방출한다. 후처리 기술로는 70년대에 배출가스중 CO와 HC를 정화시키기 위한 목적으로 산화촉매장치가 사용되었다. 이 장치는 벌집 모양의 담체에 배금을 처리하여 배출가스중 CO 및 HC를 CO_2와 H_2O로 정화시켰던 것이다. 그러나 80년대에 들어와 미국과 일본에서 배출가스 규제가 더욱더 엄격해지자 CO 및 HC 뿐만아니라 NOx까지도 정화시킬 필요가 있었다. 이러한 기술로서 삼원촉매장치가 사용되었는데 이 장치는 백금(Rt), 파라듐(Pd)과 같은 산화촉매와 로듐(Rh)과 같은 환원촉매를 이용하여 CO와 HC는 CO_2와 H_2O로 산화시키고 NOx는 N_2로 환원시키는 것이다[Calvant and Engkund, 1984].

이때 CO, HC 및 NOx가 동시에 CO_2, H_2O 및 N_2로 정화되기 위해서는 공기와 연료에 대한 혼합기체의 공연비가 이론 공연비 상태로 유지되어야하며 배출가스 온도가 300-450 ℃ 이상은 유지되어야 한다. 삼원촉매에 의한 배출가스 정화장치 시스템은 <그림 4>와 같다. 여기서 볼 수 있는 바와 같이 배출가스중 O_2농도를 산소검지기에 의해 측정하고 그 신호를 전자조절장치(ECU)로 보내어 연료량을 조절함으로서 이론 공연비 상태를 유지하도록 하는 장치이다.



<그림 4> 폐쇄회로 삼원촉매장치 시스템

3) 증발가스 방지장치

휘발유 탱크 및 기화기에서 증발되는 연료가스가 대기중으로 방출되는 것을 방지하기 위해 활성탄이 충진된 캐니스터(canister)에 의해 포집한다[Wark and Warner, 1976]. 이때 캐니스터에 들어 있는 활성탄은 자동차가 정차시 연료탱크나 기화기에서 증발된 연료가스를 흡착하고 있다가 자동차가 주행하게 되면 에어크리너에 연결된 튜브로 흡입되어 탈착된다.

4) Blowby가스 방지장치

가솔린 기관에서 혼합기체를 흡입압축할 때 혼합기가 피스톤과 실린더 벽사이 틈새를 통해 윤활유가 채워져 있는 크랑크케이스 내부를 부식시키게되어 환기를 시켜 주어야하는데 Blowby가스 중에는 많은 양의 탄화수소가 함유되어 있으므로 그대로 대기중에 방출할 수 없다. 따라서 크랑크케이스 내의 Blowby가스를 에어크리너로 되돌려 보내어 흡입공기와 같이 재연소시킨다.

4. 디젤 자동차 배출가스 저감기술

1) 4사이클 디젤기관(4사이클 압축점화기관)

실린더 내에 공기만을 흡입하고 압축하여 압력을 높이면 압축공기 온도는 경유의 착화온도 이상이 된다. 고온의 압축공기에 경유를 미세한 입자로 분산시키면 착화하여 연소된다. 이 연소는 이상적으로는 분무가 계속되는 동안 연소가 계속된다. 이 방식은 연소과정 압력이 일정하게 됨으로 정압사이클이라하며 또는 디젤사이클이라고도 한다.

2) 디젤 자동차

디젤기관의 연소는 가솔린 기관에서와 같이 연료가 공기와 혼합하여 연소될 때 불완전 연소에 의하여 CO 및 HC가 생성되며 연소시 발생한 고온에 의하여 공기중 N_2와 O_2가 반응하여 NOx가 생성된다. 그러나 디젤기관은 공기가 많은 상태에서 연소가 일어나므로 CO 및 HC는 가솔린 기관에 비하여 적게 배출되나 NOx와 매연이 많이 방출된다. 특히 연료분사량이 많은 고속, 고부하 운전시에는 부분적으로 공기가 부족한 상태가 되어 산소와 접촉되지 않은 부분이 상호 응집하여 매연으로 배출된다.

한편 경유는 고비점 탄화수소가 많이 함유되어 있어 미연소 상태의 입자상 물질로 배출된다. 배출가스 허용기준이 엄격하지 않은 디젤자동차는 촉매장치가 부착된 가솔린자동차에 비하여 입자상물질이 30-70배 정도 더 많이 배출된다고 한다[Vernon, 1985]. 디젤 자동차에 있어서도 가솔린 자동차와 마찬가지로 기관의 개량과 후처리기술이 적용되고 있다.

3) 기관개량에 의한 배출가스 저감기술

(1) 연소실 개선

자동차용 기관과 같은 고속 디젤기관에서는 연료의 분사로부터 연소가 완료될 때까지의 시간이 극히 짧아 완전연소를 시키기 위해서는 균일한 혼합기를 만들어 주어야 한다. 이를 위해서는 공기를 강제로 유동시켜 주어야 한다.

공기와 연료의 혼합을 좋게하기 위한 연소실의 형상은 여러 가지가 있으나 크게 분류하면 직접분사식과 간접분사식이 있다. 직접분사식은 피스톤의 끝을 움푹 파지게 만들어 연료를 직접분사시키는 것이고 간접분사식은 피스톤 끝의 움푹파진곳(주연소실) 이외에 별도로 연소실(부실)을 만들어 두 개의 연소실을 좁은 통로로 연결함으로써 부실에서 1차연소가 일어나 급격히 주연소실로 팽창함으로써 주연소실에서 와류를 형성하면서 완전연소 되도록 설계된 것이다. 간접분사식은 직접분사식에 비하여 최고 온도 및 최고 압력이 낮기 때문에 NOx가 적게 생성되고 소음도 적으나 열효율이 나빠 연료소비가 많다. 따라서 일반적으로 소형기관에는 간접분사식이 많이 사용되며 대형기관에는 직접분사식이 사용된다.

(2) 연료분사계 개선

디젤기관에서 가장 중요한 부분은 연료공급계통이다. 디젤기관은 가솔린기관과 달리 공기만으로 압축시킨 후 연소실에 연료를 직접분사 시킴으로써 연료의 입자가 미세한 입자로 분사되지 않으면 연소가 불완전하고 탄소입자가 많이 생성되어 매연이 배출된다. 이 때문에 디젤기관에서 가장 문제가 되고 있는 매연을 억제하기 위해서는 고압분사에 의해 연료를 미립화시키고 연료량 및 연료분사 시기를 전자적으로 조절하고 있으며 고압 및 초고압 분사에 의해 NOx 및 매연을 저감시키고 있다. 연료분사기는 NOx의 생성과 밀접한 관계가 있다. 연료분사기를 지연시키면 NOx생성이 적어지나 매연의 발생이 많아지고 연료소비 효율이 나빠지므로 적절한 연료분사시기를 선택해야만 한다.

(3) 터보차저 및 인터쿨러

연료의 연소를 촉진시키기 위해서는 공기가 충분해야한다. 그러나 디젤기관의 연소실내에 자연흡입에 의해 공기를 충진시키는 데는 한계가 있으므로 강제적으로 공기를 충진시키면 더 많은 공기를 충진시킬 수 있을 것이다. 배출가스의 유속을 이용하여 회전체를 회전시키고 동심축에 연결된 팬을 회전시켜 흡입공기를 충진시키면 배출가스량에 비례하여 많은 양의 공기를 연소실내에 충진시킬 수 있다. 이와같은 원리를 이용한 것이 과급기인 터보차저 이다. 이 터보차저를 사용하면 충진된 공기의 온도가 높아져 체적이 팽창함에 따라 공기의 충진밀도가 낮아지므로 흡입공기를 냉각시켜 주어야 한다. 터보차저에 의해 압축된 공기를 냉각시키는 장치가 인터쿨러이다.

터보차저와 인터쿨러를 사용하면 연소실내에 공기가 많이 충진되어 연소시 완전연소 뿐만 아니라 연소생성물의 냉각효과로 연소실의 온도가 내려가 NOx생성이 억제되며 매연생성이 저감된다. 현재 우리나라에서는 일부 대형트럭 및 고속버스 기관에 터보차저 및 인터쿨러를 사용하고 있으나 선진국에서는 터보차저 및 인터쿨러의 사용은 보편화되어 있다.

(4) 배출가스 재순환(EGR) 장치

가솔린 기관에 있어서는 EGR장치가 보편화 되어 있으나 디젤기관에 있어서는 일부 승용차 및 소형트럭의 디젤 기관에 실용화 되고 있을 뿐이며 대형 디젤기관은 실용화를 위한 연구단계에 있다. 디젤기관에 있어서는 입자상 물질의 배출이 많고 경유중에 함유된 황의 연소에 의한 SO_2의 배출로 EGR사용시 장치의 고장과 기관의 부식 등의 문제로 어려움이 많다. 그러나

최근 디젤기관의 NOx에 대한 배출가스 규제가 강화됨에 따라 대형디젤기관에서도 EGR의 적용이 연구중에 있으며 일부 실용화되고 있다. 디젤기관에서 EGR장치를 사용할 때는 매연의 발생이 많은 고부하 상태를 피하고 매연의 발생이 적은 저부하 또는 중부하 상태에서만 EGR을 시키고 있다.

(5) 윤활유의 역할

디젤입자상 물질의 규제강화에 따라 윤활유가 입자상물질 배출량에 많은 영향을 미치므로 윤활유가 연소실 내에 적게 유입되도록 하기 위한 대책을 강구하고 있다. 윤활유에 의한 입자상 물질의 배출을 줄이기 위해서는 피스톤과 실린더 사이의 기밀성을 좋게하며 윤활유의 손실을 줄일 수 있도록 해야 한다.

4) 후처리에 의한 배출가스 저감기술

(1) 산화촉매

디젤 자동차는 연소실 내에 공기만을 흡입하고 압축한 후에 경유를 분사시켜 연소시키므로 항상 일정한 공기량에 연료를 분사시킨다. 그러므로 공기와 연료의 혼합비인 공연비가 일정하지 않고 운전조건에 따라 상이하다. 이러한 이유로 이론 공연비에서 연소시킬 때 정화 효율이 높은 가솔린 자동차용 삼원촉매장치는 공연비가 항상 다른 디젤 자동차에는 사용할 수 없다. 디젤자동차에 사용되는 산화촉매는 일산화탄소, 탄화수소 및 입자상 물질로 배출되는 고비점 탄화수소를 산화시켜 탄산가스와 물로 정화시킬 수 있다.

디젤 입자상 물질 중에는 기관의 운전조건에 따라 서로 다르나 30%정도의 유기용매에 녹을 수 있는 물질(Soluble Organic Fraction: SOF: 이염화메탄에 녹을 수 있는 물질)을 함유하고 있다. 이러한 SOF는 산화촉매에 의해 대부분 산화시킬 수 있으므로 입자상 물질 제거기술에도 이용되고 있다. 최근 미국, 독일 등 선진국에서는 기관개량에 의하여 질소산화물과 입자상물질을 대폭 저감시키고 산화촉매에 의해 일부의 입자상물질과 디젤냄새를 제거시키고 있다 [Ogura, 1994] .

(2) 입자상물질 여과장치

입자상물질을 걸러서 제거하는 기술로서 입자상물질을 거르는 여과기술과 걸러진 입자상물질을 무해한 물질로 처리하는 재생기술 및 장치를 조절하는 전자조절기술이 주요 핵심 기술이다[조광래, 1993].

디젤입자상물질을 거르는 여과제는 세라믹필터, 세라믹화이버, 세라믹폼, 실리콘카바이드, 와이어메쉬 등 여러 가지 종류가 있으나 일반적으로 많이 이용되고 있는 것은 세라믹 필터와 세라믹 화이버 필터이며 여과효율은 60-90%이다. 세라믹 필터에 의한 입자상물질의 여과원리는 간단하며 걸러진 입자상물질은 산화시켜 탄산가스와 물로 만들어 주어야 하는데 이때 사용되는 재생기술로는 전기히터에 의한 방법, 경유버너에 의한 방법, 촉매에 의한 방법, 첨가제 및 쓰로트링에 의한 방법 등 여러 가지 방법들이 이용되고 있다.

(3) DE-NOx 촉매

디젤기관에서 배출되는 NOx를 촉매에 의해 저감시키기 위한 기술로서 DE-NOx촉매기술이 최근 많이 연구되고 있다. 이 촉매는 배출가스 중 탄화수소를 환원제로 사용하는데 구리-지올라이트(copper zeolite sieves)를 이용하여 정지가동상태나 저부하상태로 운전시 분자량이 큰 탄화수소를 흡착시키고 NOx가 많이 발생하는 고부하시에 NOx와 반응시켜 촉매에 의해 질소로 환원시키는 것이다[CARB, 1992]

5. 자동차 배출가스 관리적인 측면

1) 제작자동차 배출가스 허용기준과 시험방법

자동차 배출가스는 1966년 미국 캘리포니아주에서 세계 최초로 규제를 행한이래 미국 연방정부에서는 1968년에, EC에서는 1970년에, 일본에서는 1973년에 배출가스 규제를 하기 시작하였다[조강래, 1994]. 우리나라는 1980년에 최초로 제작차의 배출가스 규제를 실시한 후 수차례의 강화를 해왔으며 드디어 1987년 7월에는 승용차 배출가스 허용기준을 획기적으로 강화하여 3원촉매장치를 부착한 저공해 자동차가 보급되게 되었다. 우리나라의 제작차 배출가스 허용기준을 보면 다음과 같다.

우선 휘발유 및 가스자동차는 경자동차, 승용자동차, 소형자동차 및 중량자동차로 구분하고 있으며 경자동차는 배기량이 800CC 이하의 자동차로 국민차의 개념에서 배출가스 규제를 완화하여 적용하고 있으며 소형화물 자동차는 차량의 총 무게가 3톤이하의 자동차로서 승합차와 지프차를 포함하고 있다. 휘발유 중량자동차는 아직 우리나라에서 생산되고 있지 않으나 앞으로 CNG, LPG 와 같은 대체연료 자동차가 보급될 전망이다.

경유자동차는 휘발유자동차와 달리 경자동차의 구분은 없고 Blowby가스나 증발가스대신 매연과 입자상물질을 규제하고 있다. 경유자동차는 1996년에 규제가 강화되었으며 2000년에 다시 한번 단계적으로 규제가 강화될 것이다. 이륜자동차는 1991년부터 규제가 시작되어 배기량 및 행정수에 따라 CO와 HC를 규제하고 있다.

배출가스 시험방법은 경자동차, 승용자동차 및 소형화물 자동차는 CVS-75(Constant Volume Sampler) 시험방법을 사용하고 있다. 이 CVS-75 시험법이란 미국에서 사용하고 있는 FTP-75(Federal Test Procedure 75)와 같은 시험법으로 자동차를 차대동력계에 올려 놓고 LA-4모드에 의해 운전하면서 배출가스를 시료백에 채취하고 분석계로 측정한다. 이때 분석법은 CO 및 CO_2는 비분산 적외선 분석법(NDIR), HC는 불꽃이온화 검출법(FID), NOx는 화학발광법(CLD)을 사용하고 있다. 다만 경유사용자동차의 HC는 가열형 불꽃이온검출법(HFID)을 사용하고 있다.

현재 경유자동차에 사용하는 D-6 모드는 1984년 7월부터 사용하고 있는 방법으로 일본에서 1993년까지 사용해 왔던 D-6 모드와 같다. 중량자동차에 있어서는 1996년부터 휘발유자동차는 G-13 모드를 그리고 경유사용 자동차는 D-13 모드를 사용하게 될 것이다.

2) 자동차 배출가스 관리

자동차로부터 배출되는 오염물질을 저감시키기 위해서는 엄격한 배출가스 허용기준을 제정하고 이 허용기준에 따라 적합한 자동차를 만들어야 하며 만들어진 자동차가 제작차의 배출가스 허용기준에 적합하게 제작되었는지를 철저하게 관리해야 한다.

자동차가 제작 판매되어 도로에서 운행하게되면 복잡한 도로여건, 운전자들의 운전습관, 정비점검실태, 사용연료 및 사용기간 등에 의해서 오염물질 배출량이 다르게 된다. 특히 자동차의 장기간 사용에 따른 배출가스 관련 부품의 노화현상, 정비점검의 부실, 임의조작 및 난폭운전 등에 의하여 오염물질이 많이 배출될 수 있으므로 적절한 관리에 의하여 배출가스가 많이 배출되는 것을 방지해야 한다. 우리나라는 이와같은 자동차 배출가스 관리를 위하여 대기환경보전법에 제작차에 대한 인증, 제작차 배출허용기준 검사, 결함시정 및 운행차 수시점검을 실시하도록 규제하고 있다[대기환경보전법, 1992].

(1) 제작차에 대한 인증

자동차를 제작판매하고자 하는 자(수입자 포함)는 자동차를 제작판매하기 전에 시제품을 만들어 앞으로 제작판매하고자 하는 차종이 설계상으로나 기술적으로 대기환경보전법에서 정하고 있는 제작차 배출가스 허용기준을 만족시킬 수 있다는 인증을 받아야 한다. 제작사는 우선

인증관련 서류를 환경부에 제출하고 서류검토와 함께 인증에 필요한 시험을 받아야 하는데 이 때에 제작차 배출허용기준에의 적합 여부를 확인하는 배출가스 시험, 배출가스 보증기간에 해당하는 내구성 시험 및 배출가스 관련부품의 구조, 성능에 관한 기술적 타당성의 검토에 필요한 시험을 실시해야 한다.

(2) 제작차 배출 허용기준 검사

인증을 받은 자동차가 제작과정에서 제작차 배출허용기준에 적합하게 제작되고 있는 지를 확인하기 위한 검사로 정기검사와 수시검사가 있다. 정기검사는 일정량의 생산된 자동차마다 시료를 채취하여 배출가스를 검사하는 것으로 이 검사는 제작사에 의해서 자체적으로 실시하

고 매분기마다 환경부에 보고하도록 하고 있다. 수시검사는 제작사에서 자체적으로 실시하는 정기검사가 제대로 이루어지고 있는지를 확인하기 위한 검사로서 연간 1-2회씩 환경부에 의해 제작과정에서 시료를 채취하여 검사하는 것이다.

(3) 결함시정

인증을 받아 제작 판매되어 운행되고 있는 자동차는 배출가스 보증기간 이내에서는 제작차의 배출가스 허용기준을 만족시켜야만 한다. 만약 이 기준을 초과하게 되고 그 사유가 자동차 제작자에게 있다고 인정될 때에는 해당 자동차에 대하여 배출가스 과다 배출 요인이 되는 부분에 대한 고장을 무료로 수리토록 하는 제도이다.

(4) 운행차 수시점검

자동차를 운전하는 자는 자기의 자동차에 대하여 수시로 정비점검을 실시하여 자동차가 정상적인 상태에서 운전되도록 해야 하며 배출가스 관련부품의 임의조정과 기능제거 및 탈거 등의 임의조작을 하지 않고 난폭운전을 하지 않는 등 오염물질 배출을 줄일 수 있는 노력을 해야 한다.

운행차에 대한 배출가스의 수시점검은 오염물질을 과다하게 배출하고 있는 운행중인 자동차를 적발하기 위해 노상이나 차고지에서 불시에 검사하는 제도이다. 이 때는 바로 운행중인 자동차 배출가스 허용기준에 적합해야 한다.

6. 결 론

본 논문에서는 자동차 배출가스의 허용 규제기준을 만족하는 목표를 달성하기 위해 합리적이고 경제성 있는 기술 및 관리적인 배출가스 저감기술들에 대한 서브시스템 요소들을 기초로 기획, 개발, 생산, 사용 및 폐기의 각 단계에서 배출가스를 규제할 수 있는 전생애평가 절차를 개발하여 그 시스템을 구축하였다. 본 연구를 수행함으로써 얻을 수 있는 기대효과는 (1) 배출가스 저감기술에 대한 기술수준의 향상과 기술개발에 기여할 수 있게 되었으며 (2) 제작차량의 인증시험 및 검사를 효과적으로 수행할 수 있는 토대를 구축할 수 있게 되었으며 (3) 운행차량의 수시점검 및 검사를 능률적으로 실시할 수 있는 새로운 기법으로 그 활용성을 제고할 수 있었다.

따라서 본 연구 결과 자동차 배출가스의 저감기술에 필요한 모든 기술적인 정보와 관리적인 정보를 기획단계인 연료사용으로부터 개발, 생산단계인 배출가스 저감기술 및 사용단계인 배출

가스 허용기준, 시험방법, 인증시험, 허용기준검사, 운행차량의 수시점검 및 검사에 이르는 전 생애평가를 통해 에너지 소비를 극소화하고 오염물질의 배출량을 극소화 시키는 양면 극소화 정책을 실현할 수 있는 배출가스 규제를 위한 전생애평가 시스템을 개발하게 되었다.

참고문헌

[1] Antonie, T. and Wilhelm, P. (1991), *Research & Development for The Standardization*, EN.

[2] BSI (1993), *General Criteria for Certification Bodies Operating Product certification* : EN 4501, EN.

[3] BSI (1993), *General Criteria for Certification Bodies Operating Certification of Personnel* : EN 4501, EN.

[4] BSI (1993), *General Criteria for Suppliers' Declaration of Conformity* : EN 45014, EN.

[5] Helmut, R. (1993), "Standardization and Certification in Europe-1993 and Beyond," *ASTM Standardization News*, No. 6, pp. 13-18.

[6] Repussard, J. (1992), "Testing and Certification Bodies : Achieving Mutual Recognition," *EOQ Quality*, No. 1, pp. 23-28.

[7] Carverts and England H.M. (1994), *Handbook of Air pollution Technology*, John Willey & Sons.

[8] CARB (1992), *Technical Feasibility of Reducing NOx and particulated Emissions from Heavy-Duty Engines*, Acurex Environmental Corporation.

[9] Faiz, A. K. , Sinha, M. , Walsh and Varma, A. , (1990), *Automotive Air pollution ; Issues and Operations for Developing Countries*, Instrastructure and Urban Development Department, The World Bank.

[10] Ogura, Y. , et. al., (1994), *Development of Oxidation Catalyst for Diesel Engine*, SAE 940240.

[11] Vernon, T., Lents, J. M. and Gallapher, G. L. (1985), *Diesel Emissions; Their Formations, Impact and Recommendation for Control*, Colorado State.

[12] Wark, K. and Warner, C. F. (1976), *Air pollution, its Origin and Control*, Harper & Row publishers.

[13] Andrew, D. F., Gnadadesikan, R. and Warner, J. L. (1971), "Transformation of Multivariation Data", *Biometrika*, Vol. 27, pp.825-840.

[14] Box, G. E. P. and Cox, D. R. (1964), "An Analysis of Transformation", *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol. B, No. 26, pp. 221-252.

[15] Cohen, A. C. and Whitten, B. J. (1985), "Modified Moment Estimation for the Three-Parameter Invers Gaussian Distribution", *Journal of Quality Technology*, Vol. 17, No. 3, pp. 147-154.

[16] Environmental Protection Agency (1990), "Control of Air Pollution from New Motor Vehicles and New Motor Vehicle Engines, Selective Enforcement Auditing Procedures", *Federal Register*, Vol. 45, pp. 34174-34258.

[17] Fauchon, J. and Herbin, G. (1978), "A Study of the Powers of a Normal Random Vriable : Approximation of Moments", *Review of the Applied Statistics*, Vol. 26, pp. 59-72.

[18] Gnadadeskin, R. (1977), *Method for Statistical Data : Analysis of Multivariate Observation*, New York : John Willey & Sons.

[19] Hawkes, C. J. (1976), "Curves for Sample Size Determination in Lot Sensitive Sampling Plan", *Journal of Quality Technology*, Vol. 11, No. 4, pp. 205-210.

[20] Jackson, S. E. (1959), "Quality Control Methods for Several Related Variables", *Technometrics*, Vol. 1, No. 1, pp. 359-377.

[21] Lorenzen, T. J. (1979), "The Computational Aspects for Multiple Attribute Sampling Procedures", *Communications in Statistics*, Vol. B 8(4), pp. 291-309.

[22] Milton, R. C. (1972), "Computer Evaluation of the Multivariate Normal Integral", *Technometrics*, Vol. 14, pp. 881-889.

[23] Steck, G. (1985), "A Table for Computing Trivariate Normal Probabilities", *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 29, pp. 780-800.

[24] Tiao, G. C. and Guttman, I. (1967), "Analysis of Outliers with Adjusted Residuals", *Technometrics*, Vol. 9, pp. 541-559.

[25] Wilks, S. S. (1963), *Multivariate Statistical Outliers*, Sankhya A. 25, pp. 407-426.

[26] Aroian, L. A. (1968), "Sequential Analysis, Direct Method", *Technometrics*, Vol. 10, pp. 125-132.

[27] Aroian, L. A. (1976), "Application of the Direct Method in Sequential Analysis", *Technometrics*, Vol., pp. 301-306.

[28] Barnett, V. and Lewis, T. (1976), *Outliers in Statistical Data*, New York, John Wiley & Sons, Inc.

[29] Bellman, R. E. (1957), Dynamic Programming, Princeton University Press.

[30] Box, G. E. P. and Cox, D. R. (1964), "An Analysis of Transformations", *Journal of Royal Statistical Soc. B*, 26, pp. 211-252.

[31] Chernoff, H. and Ray, S. N. (1965), "A Bayes Sequential Sampling Inspection Plan" *Annuals of Mathematical Statistics*, Vol. 36, pp. 1387-1407.

[32] David, H. A. (1970), *Order Statistics*, New York, John wiley and Sons, Inc.

[33] DeGroot, M. H. (1970), *Optimal Statistical Decisions*, McGraw-Hill.

[34] Draper, N. R. and Cox, D. R. (1969), "On Distributions and Their Transformations to Normality", *Journal of Royal Statistical Soc. B*, · 31, pp. 472-476.

[35] Dodge, H. F. and Romig, H. G. (1959), *Sampling Inspection Tables, Single and Double Sampling*, Second Edition, John Wiley and Sons, Inc.

[36] Hald, A. and Keiding, N. (1972), "Asymptotic Properties of Bayesian Decision Rules for Two Terminal Decisions and Multiple Sampling II", *Journal of Royal Statistical Soc*, B, 34, pp. 55-74.

[37] Howard, R. A. (1960), *Dynamic Programming and Markov Processes*, The Massachusetts Institute of Technology Press.

[38] Nemhauser, G. L. (1966), *Introduction to Dynamic Programming*, John Wiley and Sons. Inc.

[39] US Government (1975), "Rules and Regulations, Part 86-Control of Air Pollution from New Motor Vehicles and New Motor Vehicle Engines", No. 126, June 30.

[40] Vander Waerden, V. L. (1960), "Sampling Inspection as a Minimum Loss Problem", *Annuals of Mathematical Statistics*, Vol. 31, pp. 369-384.

[41] Wald, A. (1947), *Sequential Analysis*, John Wiley and Sons, Inc.

[42] Wetherill, G. B. (1975), *Sequential Methods in Statistics*, Halsted Press.

[43] Wetherill, G. B. (1977), *Sampling Inspection and Quality Control*, Halsted Press.

[44] Woodroofe, Michael (1976), "Frequentist Properties of Bayesian Sequential Tests", *Biometrika*, Vol. 63, pp. 101-110.

[45] Wilks, S. S. (1963), *Multivariate Statistical Outliers*, Sankhya A, 25, pp. 407-426.