

自動車排出가스 規制를 위한 修正된 逐次檢査計劃⁺
The Sequential Rectifying Inspection
for the Constraint of Motor Vehicle Emission

趙 載 堧*

ABSTRACT

The motor vehicle emission is expected to be constrained strongly in the future in accordance with the current policy as to prevention of air pollution.

This paper establishes a sequential rectifying inspection plan which satisfies the standard motor vehicle emission for the automobile producers who are currently producing the automobiles with catalytic converts. This plan also considered the constraint of the effective motor vehicle emission by way of rectifying the certification test in the past. In order to evaluate the performance of the inspection plan, the recent certification test data have also been applied.

The result of the application has proved that the rectified sequential inspection plan presented in this paper satisfies the standard motor vehicle emission and can be the optimal economic inspection plan.

As a result the inspection plan given in this paper will be contributed to constrain the motor vehicle emission most effectively.

⁺ 본 논문은 경희대학교에서 지급한 학술연구조성비에 의하여 수행하였음
* 경희대학교 공과대학 산업공학과 부교수

1. 序 論

자동차 배출가스 규제는 대도시의 大氣汚染을 줄일 수 있는 政策的인 면에서 아주 중요한 문제이다. 그래서 우리나라도 1987년 7월 1일 부터 선진국 수준의 배출가스 濃度基準을 설정하고 이의 目標達成을 위해 총력을 기울이고 있다. 또한 低公害自動車の 생산에 주력하고 있는 국내자동차 메이커들의 대책도 기술개발과 병행하여 淨化裝置의 성능보증시험제도 및 缺陷是正制度를 강화하고 있는 실정이다.

본 논문은 이러한 저공해자동차의 생산에 따른 배출가스 淨化장치의 성능보증과 결합시정제도의 보완대책의 일환으로 기존의 배출가스 보증시험방법을 보완하여 修正된 逐次檢査方法을 개발하고 檢査費用을 고려한 檢査計劃을 수립하므로 배출가스의 효과적인 規制와 아울러 經濟性を 評價할 수 있는 檢査計劃을 제시하고자 한다.

이러한 檢査計劃을 수립하기 위해 우선 배출가스 보증시험에 관한 검사계획을 검토하고 이 검사계획을 合理的으로 수정하여 修正된 逐次檢査計劃을 수립하면 배출가스 규제기준의 목표를 달성할 수 있다는 확신을 갖게 되었다.

따라서 이 修正된 逐次檢査計劃을 수립하기 위해 (1)배출가스 규제 현황을 파악하고 (2)저공해자동차의 보증시험제도 및 檢査實施 현황을 파악하여 (3)수정된 측차검사의 理論을 開發해야 하며 (4)배출가스 보증시험 데이터를 수집하고 정리하여 (5)수정된 측차검사이론에 응용하기 위한 프로그램을 개발해야 한다 (6)이 수정된 측차검사계획의 性能을 분석하여 본 研究의 目的에 부합됨을 입증하도록 해야 한다.

2. 自動車排出가스의 規制現況

1987년은 우리나라의 배출가스 防止對策에 있

어서 획기적인 轉換點을 맞이하는 해였다. 지금까지의 배출가스 저감기술은 엔진내에서의 방지 기술로서 공연비제어, 점화시기제어, 흡,배기 등 엔진개선등에 의하여 달성할 수 있었으나 1987년 7월 1일 부터 적용된 排出가스 規制基準에 따르면 승용차의 경우 CO-2.11g/km, NO_x-0.62g/km, HC-0.25g/km를 만족시키도록 되어 있다. 이를 만족시키기 위해서는 기존의 엔진내에서의 防止技術만으로는 목표를 달성할 수 없으며 배출가스 淨化裝置가 추가로 부착되어야 한다. 즉 폐쇄루프식기화기(closed loof carburetor)나 전자제어 연료분사장치(electronic fuel carburetor)를 사용하여 空燃比를 정확하게 제어하거나 배출가스 순환장치(exhaust gas recirculation)를 사용하여 질소산화물의 생성을 억제하는 등의 엔진내에서의 방지기술은 물론 3원 觸媒裝置(three way catalyst)를 사용해서 오염물질을 淨化시키는 후처리장치의 부착이 불가피하게 되었다. 3원촉매장치는 배출가스중의 CO 및 HC는 백금이나 파라듐 촉매에 의해 산화되어 무해한 탄산가스와 물로 만들며 NO_x는 토륨촉매에 의해 질소로 환원시키는 기능을 가진 淨化裝置로서 촉매가 제기능을 발휘하기 위해서는 정확한 공연비가 요구되므로 배출가스중의 산소농도를 산소검출기로 검지하여 기화에 피드백시켜 공연비를 조절하는 전자장치가 필요하게 된다. 또한 여기서 사용되는 귀금속 촉매는 납이나 인에 의해 심한 피독현상을 나타내어 觸媒의 機能이 저하되므로 무연휘발유 사용이 必然的이며 무연휘발유에는 납이 오염되지 않도록 특별한 조치가 필요하게 된다[14].

1987년 7월 1일부터 적용되는 規制基準에는 지금까지 적용되지 않았던 HC의 큰 排出原因 증발가스를 규제하고 있으며 배출가스 淨化裝置의 내구도, 성능보증, 결합시정과 같은 새로운 제도를 도입하였고 차종의 구분 및 測定方法을 변경하고 있다. 그러나 본 연구의 대상은 차종의

구분중 소형차 및 중형차로 휘발유나 LPG를 사용하는 LA-4 모드(CVS-75) 및 Transient test 모드로서 도시의 대표 實走行모드를 기초로 한다. 따라서 휘발유 및 LPG자동차의 淨化裝置의 내구도는 80,000km를 요구하고 있다. 즉 自動車가 80,000km를 주행한 후에도 바로 規制基準을 만족해야 한다는 것이다. 또한 배출가스의 淨化裝置의 내구도와 관련하여 배출가스를 감소할 목적으로 부착된 淨化裝置의 성능보증기간을 자동차 製作者가 정하고 이 기간내에 배출가스 許容基準을 만족시키지 못하므로 차량소유자가 환경보존법이나 도로운송차량법등에 의해 벌금등의 제재조치를 받을 경우 장치의 缺陷을 소유자의 비용부담없이 시정해 주어야 하며 운행중인 자동차의 상당대수가 적절히 整備, 使用되고 있지만 환경보존법 시행규칙에서 정하는 排出가스 농도기준에 적합하지 않다고 환경청이 판단하는 경우 차량제작자는 차량소유자의 비용부담없이 결함을 시정해 주어야 한다는 缺陷是正制度가 도입되고 있다.

3. 修正된 逐次檢査計劃

원래 측차검사는 Dodge와 Romige이 고안했으며[10] 그 후 Wald가 SPR비에 의한 측차검사계획을 開發했다[16, 17]. 이것은 모두 連續檢査에 의한 합격판정선과 불합격판정선을 기초로 設計된 측차검사계획이었다. 이 방법을 변형하여 최소와 최대역을 이용한 측차검사계획을 Chernoff와 Ray가 설계하여 좀 더 개선된 判定域을 설계할 수 있었으며[6] 그 후 Wetherill이 檢査費用을 측차검사에 포함시킨 檢査計劃을 수립할 수 있도록 시도하였으며 처음으로 이 事前分布에 관련된 새로운 측차검사계획을 설계할 수 있도록 시도하였다[18, 19]. 따라서 본 논문에서는 檢査項目의 사전확률을 이용하여 베이스

의 연속검사이론에 기초를 둔 修正된 측차검사계획을 提示하고[11] 검사의 경제성분석과 性能評價를 수행할 수 있는 Aroian의 分析方法을 응용하고자 한다[1, 2]. 새 자동차가 그 壽命週期 동안 배출가스의 標準規制値를 초과하지 않음을 보증하는 시험을 보증시험(certification test)이라 하며 이는 환경청이 시험절차를 수립하여 시행하도록 고시하고 있다. 따라서 환경청은 생산된 차량을 비슷한 排出特性을 가진 엔진그룹으로 분류하여 그 대표차량에 대해 80,000km의 주행으로 각 그룹의 엔진 열화율(DF)을 결정하고 고속주행과 저속주행비율을 결정하게 된다. 따라서 측정된 저속주행비에 DF를 적용하여 승용차의 엔진그룹에서 배출가스량에 DF를 적용한 후에도 標準規制値 이하가 되도록 보증하게 된다[14].

각 엔진그룹에 대해 배출가스 試驗을 시행한 후 修正된 逐次檢査의 로트를 결정하면 이 로트로부터 배출가스시험을 행한 자동차에 대해 合格, 不合格의 判定과 다시 다른 자동차를 시험할 것인가 혹은 시험하지 않고 나머지 차량을 합격시킬 것인가 혹은 불합격시킬 것인가를 결정하게 된다[20].

본 논문에서 開發하려고 하는 修正된 逐次檢査의 로트가 n 개의 검사항목으로 구성되었다고 하자. 그리고 그 검사특성치가 $W_1, \dots, W_i, \dots, W_n$ 으로 이 確率變數는 서로 독립이고 이들의 平均值에 대한 M 의 분포가 事前分布로 존재한다고 하자. 또한 각 特性値는 標準値 S 를 갖는다고 하면 測定誤差로 인해 i 번째 檢査項目은 試驗結果値가 $Y_i \neq w_i$ 로 되고 이때 기준치 T 를 도입하면 시험결과치의 확률변수 Y_i 에 대한 결함은 다음과 같이 표기될 수 있다. $Y_i > T$, 이 확률은 $P(w_i > S / Y_i = y_i)$ 로 표기할 수 있으며 W_i, Y_i, M 의 확률변수가 正規分布를 한다면 $W_i \sim N(w/M, \eta)$, $Y_i \sim N(y/w_i, \epsilon)$, $M \sim N(m'/\mu, z)$ 로 표기할 수 있다. 따라서 $Y_i = y_i$ 이라는 사

실은 W_1 의 정보를 곧바로 제공하고 $W_2 \sim W_n$ 에 대한 간접적인 정보를 제공하게 된다.

한편 修正된 逐次檢査 費用을 $C_1 : w_i < S$ 임에도 기각된 검사항목의 비용, $C_2 : w_i > S$ 임에도 채택된 검사항목의 비용, $C_3 : \text{단위당 검사비용}$ 이라 하면 축차의사결정 절차에 의한 정지법칙과 의사결정법칙에 의해 最小期待費用(베이스의 위험)은 다음과 같이 표기할 수 있다. [8].

$$\rho_K(g(m)) = \min [K r_0(g(m)), r_1(g(m)) + E_Y [\rho_{K-1}(g(m/y))] + C_3] \dots \dots \dots (1)$$

$$(K=1, 2, 3, \dots, n)$$

여기서

$\rho_K(g(m)) = K$ 개의 검사항목이 로트에 남아 있고 M 의 확률밀도함수가 $g(m)$ 일때 최적절차의 베이스위험

$r_0(g(m)) =$ 시험하지 않고 검사항목을 채택하는 경우의 위험(기대비용)

$r_1(g(m)) =$ 시험한후 검사항목을 채택 혹은 기각을 결정할 때의 위험

$g(m/y) = Y$ 가 결정된 후의 사후 확률밀도함수

라 하면,

현재1개의 검사항목이 검사되려고 남아있다면 ($K=1$) 이 항목을 시험하지 않고 채택하면 $r_0(g(m))$ 의 비용이 되고, 시험하면 최소비용이 $r_1(g(m)) + C_3$ 로 최적검사절차는 $r_1(g(m)) + C_3 < r_0(g(m))$ 이면 시험하고 이때의 최소기대비용은 $\rho_1(g(m)) = \min[r_0(g(m)), r_1(g(m)) + C_3]$ 가 된다.

또한 현재2개의 검사항목이 검사되려고 남아있다면 ($K=2$) 이 항목을 시험하지 않고 채택하면

$2r_0(g(m))$ 의 비용이 되고, 시험하면 최소비용이 $r_1(g(m)) + E_Y[\rho_1(g(m/y))] + C_3$ 로 최적검사절차는 $r_1(g(m)) + E_Y[\rho_1(g(m/y))] + C_3 < 2r_0(g(m))$ 이면 시험하고 이때의 최소기대비용은 $\rho_2(g(m)) = \min[2r_0(g(m)), r_1(g(m)) + E_Y[\rho_1(g(m/y))] + C_3]$ 이다. 따라서 $\rho_0(g(m/y)) = 0$ 이 된다.

이 결과 방정식 (1)의 해는 순환적인 해(recursive solution)를 구하게 되므로 DP(dynamic programming) 문제이다 [4, 13].

따라서 $r_0(g(m)), r_1(g(m)), t(y/m), g(m/y)$ 의 계산은 $h(y/w)$ 를 Y 의 밀도함수($W=w$), $f(w/m)$ 를 W 의 밀도함수($M=m$), $t(y/m)$ 을 Y 의 밀도함수($M=m$)라 하면

$$r_0(g(m)) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_s^{\infty} f(w/m) g(m) dw dm,$$

$$r_1(g(m)) = \int_{-\infty}^{\infty} [C_1 \int_{-\infty}^s \int_T^{\infty} h(y/w) f(w/m) dy dw + C_3 \int_s^{\infty} \int_{-\infty}^T h(y/w) f(w/m) dy dw] g(m) dm,$$

$$t(y/m) = \int_{-\infty}^{\infty} h(y/w) f(w/m) dw,$$

$$g(m/y) = t(y/m) g(m) / \int_{-\infty}^{\infty} t(y/m) g(m) dm.$$

이다. 이에 대한 예로 단일변수 正規分布의 경우를 생각해 보면

$$h(y/w) = N(y/w, \epsilon), f(w/m) = N(w/m, \eta), g(m) = N(M/\mu, \tau), \epsilon, \eta, \mu, \tau \text{를 알고 있다면 } t(y/m) = N(y/m, \Gamma) \text{이고 } g(m/y) = N(m/(\tau\mu + \Gamma y)/(\tau + \Gamma), \tau + \Gamma)$$

여기서 $\Gamma = \epsilon\eta/(\epsilon + \eta)$ 이다 [8].

또한 위험함수에 대한 식을 平均期待費用 함수

로 전개하기 위해 r_0 와 r_1 의 기능을 \bar{r}_0 와 \bar{r}_1 의 함수로 대체하면

$$r_0(a, b) = r_0(N(x/a, b)),$$

$$r_1(a, b) = r_1(N(x/a, b)),$$

대수학적으로 대체하면 [9]

$$\bar{r}_0(\mu, \tau) = C_2 \Phi[(-S + \mu)\sqrt{\alpha}]$$

$$\begin{aligned} \bar{r}_1(\mu, \tau) = & C_1 \sqrt{\frac{\alpha}{2\pi}} \int_{-\infty}^s \exp[-(1/2)\alpha(w \\ & - \mu)^2] \cdot \Phi[(-T + w)\sqrt{\varepsilon}] dw \\ & + C_2 \sqrt{\frac{\alpha}{2\pi}} \int_s^{\infty} \exp[-(1/2)\alpha(w \\ & - \mu)^2] \cdot \Phi[(T - w)\sqrt{\varepsilon}] dw, \end{aligned}$$

여기서 Φ 는 標準正規分布函數이고, $\alpha = \frac{\tau\eta}{\tau + \eta}$

이다.

따라서 ρ_K 의 기능을 $\bar{\rho}_K$ 함수로 대체하면

$$\bar{\rho}_K(a, b) = \rho_K(N(x/a, b)),$$

방정식 (1)을 변형하면

$$\begin{aligned} \bar{\rho}_K(\mu, \tau) = & \min[K\bar{r}_0(\mu, \tau), \bar{r}_1(\mu, \tau) \\ & + E_V[\bar{\rho}_{K-1}((\tau\mu + \Gamma y)/(\tau + \Gamma), \\ & \tau + \Gamma)] + C_3] \\ & (K=1, 2, 3, \dots, n) \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

고로 $\bar{\rho}_K(\mu, \tau)$ 는 最適檢査節次의 危險을 나타

낸다.

따라서 \bar{r}_0 , \bar{r}_1 의 계산은 수치해석(numerical method)방법으로 구하고 $\bar{\rho}_K$ 의 계산은 후진계산법(backward induction)에 의해 구한다[12, 13].

고로 연속경계역에 포함되는 μ 의 각 단계의 값을 산출할 수 있다. 이의 계산은 컴퓨터 프로그램하여 부록 2.1에 수록하였다.

한편 현재의 $g(m)$ 의 모수들을 각 단계에서 대입하면 연속역의 경계와 비교하여 修正된 逐次檢査를 계속할 것인지를 결정할 수 있다. 이 관계는 μ 에 대한 최적기준치로 이후에 시험되는 y_i 에 관한 基準値가 된다.

따라서 μ_i 를 i 의 검사항목을 시험한 후의 M 의 평균이라면 $Z_i = \sum_{j=1}^i y_j$ 는 i 검사항목에 대한 검사결과치의 합이 된다.

$$\mu_i = (\tau\mu_0 + \Gamma Z_i)/(\tau + i\Gamma)$$

여기서 μ_0 는 검사항목이 시험되기전의 사전분포의 평균이다[8].

μ_i^* 를 μ_i 에서의 최적기준치라 하면

$$Z_i^* = (\tau + i\Gamma)\mu_i^* - \tau\mu_i/\Gamma \dots\dots\dots(3)$$

4. 修正된 逐次檢査의 性能評價

수정된 측차검사의 성능은 (1) DSN(decisive sample number) : 시험종료 직전까지 취해진 시료수 (2) ASN(average sample number) : DSN의 평균 (3) OC(operating characteristic curve) : 시험가설을 채택할 확률을 모수값에 비교한 함수등에 의해 평가될 수 있다. 이들에 대한 특성은 1개의 항목을 시험한후 그 로트를 채택할것인가 기각할것인가를 결정하는 일과 샘플링을 더 계속하여 남은 항목을 채택하느냐 기각하느냐의 意思決定을 하게 된다. 그래서 W_i

의 분포들의 모수가 \hat{M} 일때 항목 i 를 검사한후 종료하는 확률이 로트의 DSN분포를 나타내고, ASN함수는 \hat{M} 의 함수가 되고, 로트의 OC함수는 \hat{M} 의 함수로 로트의 모든 항목이 수정되지 않고 채택되는 경우의 확률이며 단일검사 항목의 OC함수는 \hat{M} 의 함수로 로트의 특정 항목이 채택될 확률이다. 따라서 이들은 다른 檢査計劃과 비교할 수 있는 정보를 제공하게 된다. 또한 모든 대안에 대한 검사계획은 검사역에 들어가는 항목이 불합격될 比率은 일정하게 되며 주어진 M 에서 실제로 標準値에 일치하는 항목이 기

각되는 期待比率은 모든 검사계획에서 동일하게 된다. 그러나 불합격의 總期待數는 다르게 된다.

따라서 계산절차는 다음과 같다[1, 2].

$P_i(\hat{M})$: i 항목이 시험되고 채택될 확률

$q_i(\hat{M})$: i 항목이 시험되고 기각될 확률

$U_i(\hat{M})$: $i+1$ 항목이 시험될 확률

$V_i(\hat{M})$: $i+1$ 항목이 마지막 시험될 확률

$U_0(\hat{M})=1, U_n(\hat{M})=0, U_i(\hat{M})+V_i(\hat{M})=U_{i-1}(\hat{M})$ 으로 $U_i(\hat{M})$ 와 $V_i(\hat{M})$ 는 Fig.1의 관계를 갖는다.

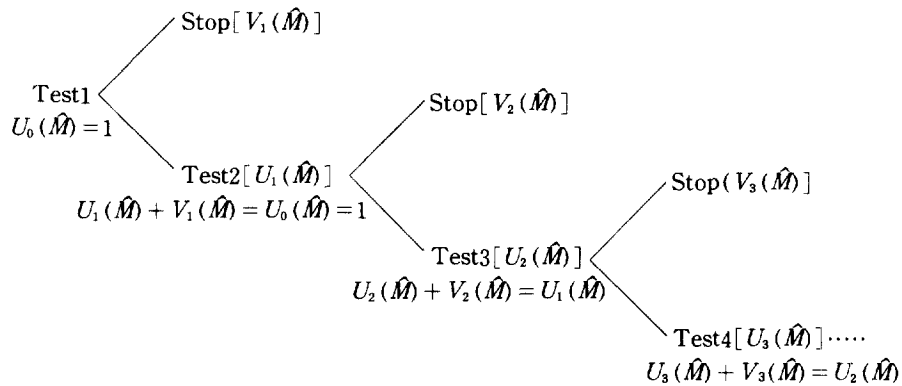


Fig. 1. Relationships among $U_i(\hat{M})$ and $V_i(\hat{M})$

Fig. 1. 에서 보는 바와 같이

(1) $V_i(\hat{M})$: DSN + i 인 확률,

(2) $ASN = \sum_{i=1}^n i V_i(\hat{M}) = \sum_{i=1}^n i [U_{i-1}(\hat{M}) - U_i(\hat{M})] = 1 + \sum_{i=1}^n U_i(\hat{M})$,

(3) 로트의 OC 함수 : $\prod_{i=1}^n [1 - q_i(\hat{M})]$,

(4) 검사 항목의 OC 함수 : $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [P_i(\hat{M}) + V_i(\hat{M})(n-i)]$.

이다. 따라서 시험결과의 밀도함수 $t(y/\hat{M})$ 은 다음 영역에 접근하게 된다.

$$P_i(\hat{M}) = U_{i-1}(\hat{M}) \int_{-\infty}^T t(y/\hat{M}) dy,$$

$$q_i(\hat{M}) = U_{i-1}(\hat{M}) \int_T^{\infty} t(y/\hat{M}) dy,$$

또한 μ_i^* = 연속역의 경계이며 M 의 사후분포 모수로 i 번째 항목이 시험된후 이 값 아래에서 검사계획은 정지하게 된다. $b_i(\mu/\hat{M}) = X_i$ 의 확률밀도함수라 하면

$$U_i(\hat{M}) = \int_{\mu_i^*}^{\infty} b_i(\mu/\hat{M}) d\mu,$$

$$V_i(\hat{M}) = \int_{-\infty}^{\mu_i^*} b_i(\mu/\hat{M}) d\mu$$

$$= U_{i-1}(\hat{M}) - U_i(\hat{M}),$$

이다. 고로 $i > 1$ 에 대해 $b_i(\mu_i/\hat{M})$ 는 순환식으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$b_i(\mu_i/\hat{M}) = \int_{\mu_{i-1}^*}^{\infty} b_{i-1}(\mu_{i-1}/\hat{M}) t[y(\mu_i/\mu_{i-1})/\hat{M}] [dy(\mu_i/\mu_{i-1})/d\mu_i] d\mu_{i-1}.$$

이다. 이에 대한 단일변수 정규분포의 경우 $t(y/m) \sim N(y/m, \Gamma)$ 이고 $\Gamma = \varepsilon\eta/\varepsilon + \eta$ 이다. 따라서 연속역의 경계 μ^* 는 Y_i 를 시험한 후 \hat{M} 의 분포의 평균값에 대한 기준치가 된다. 고로

$$\mu_i = [\tau_{i-1}\mu_{i-1} + \Gamma y(\mu_i/\mu_{i-1})]/[\tau_{i-1} + \Gamma],$$

$$y(\mu_i/\mu_{i-1}) = [(\tau_{i-1} + \Gamma)\mu_i - \tau_{i-1}\mu_{i-1}]/\Gamma,$$

$$b_i(\mu_i/\hat{M}) = \int_{\mu_{i-1}^*}^{\infty} b_{i-1}(\mu_{i-1}/\hat{M}) t\{(\tau_{i-1} + \Gamma)\mu_i - \tau_{i-1}\mu_{i-1}/\Gamma\}/\hat{M} [\tau_{i-1} + \Gamma/\Gamma] d\mu_{i-1} \dots\dots\dots (4)$$

이다. 단, $\tau_i = \tau_{i-1} + \Gamma (i=1, 2, \dots, n)$ 과 같이 순환적으로 계산된다. 이들에 대한 계산은 컴퓨터 프로그램하여 부록 2.2에 수록하였다.

5. 修正된 逐次檢査의 應用

자동차 배출가스 보증시험을 전절에서 개발한 修正된 逐次檢査方法을 응용하기 위해 3가지 檢査特性(CO, NOx, HC)의 데이터를 분석하여

보았다. 부록1은 우리나라 환경청이 공해방지대책의 일환으로 排出가스 規制를 강화한 1987년 7월 1일 이후에 얻어진 데이터이다. 환경청의 規制가 강화되자 국내자동차 제작회사에서는 規制基準를 만족하고 正화장치의 성능보증과 結합 時정제도에 대처하기 위해 보증시험제도를 강화하였다. 이 보증시험에 사용된 淨化裝置는 고도의 성능을 가진 전자제어 연료분사장치였고 이에 사용된 연료는 최고급 무연휘발유를 사용하고 있었다. 따라서 1988년형 내수용 모델중 시장점유율이 높은 3개 회사 (A, B, C)의 59종의 엔진에 대한 耐久性試驗 및 배출가스 보증시험에 대한 데이터를 修正된 逐次檢査計劃에 맞도록 정리하여 그 分布를 확인하였다.

부록 1.1은 내구성 시험데이터이고 부록 1.2는 배출가스 보증시험데이터이다.

국내 3개의 自動車製作會社의 배출가스 농도 기준은 환경청의 規制基準値보다 그 標準値나 基準値가 낮아 현재 환경청의 規制치보다 낮도록 標準値와 基準値를 설정하고 CO와 NOx에 대한 Table 1의 값을 얻게 되었다.

6. 檢査費用의 效果

CO의 檢査續行域은 Fig.2에서 보는 바와 같이 自動車 數에 따른 함수관계로 검사가 정지되고 나머지 로트가 채택되는 경우 검사결과치의 합으로 나타난다. Fig.3은 Fig.2에서 정의된 修正된 逐次檢査計劃이 적당한 事前平均의 범위내에서 베이스위험 즉 期待費用을 줄일 수 있음을 나타낸다. Fig.4는 Fig.2에서 정의한 수정된 逐次檢査계획의 OC 함수를 나타내고 있다.

Fig.5는 단일 檢査項目에 대한 OC 함수로 檢査費用의 比를 변화하여 나타내고 있다. Fig.6은 Fig.5의 5가지 檢査計劃과 같은 ASN 함수를 보이고 있다. 따라서 수정된 逐次檢査계획에서

Table 1. Data Used in Univariate Normal Case

| Item | Description | Value | |
|------------|--|-------------|--------------|
| | | CO Emission | NOx Emission |
| C_1 | Cost of Failing a "Clean" Vehicle | 20 | 20 |
| C_2 | Cost of Passing a "Dirty" Vehicle | 10 | 10 |
| C_3 | Testing Cost per Vehicle | 1 | 1 |
| ϵ | Test Precision | 0.463 | 62.99 |
| η | Precision of Vehicle True Emissions(Given M) | 0.101 | 19.93 |
| τ_0 | Precision of Prior Distribution of M | 0.088 | 8.16 |
| μ_0 | Mean of Prior Distribution of M (mg/km) | 10 | 1.5 |
| n | Maximum number of Vehicles Available for Testing | 5 | 5 |
| S | Emission Standard(mg/km) | 15 | 2 |
| T | Pass-Fail Threshold(mg/km) | 15 | 2 |

는 사전분포의 평균을 정확히 예측하고 검사비용의 비를 정확히 예측할 수 있으면 總期待費用을 최소로 하는 檢査計劃을 수립할 수 있게 된다.

Table 1에서 NOx의 경우도 Fig. 3, 4, 5, 6과 모양, 경향등이 비슷한 修正된 逐次檢査曲線과 OC곡선 및 ASN곡선을 갖게 된다. 본 논문에서는 앞으로 오직 CO만 고려한다.

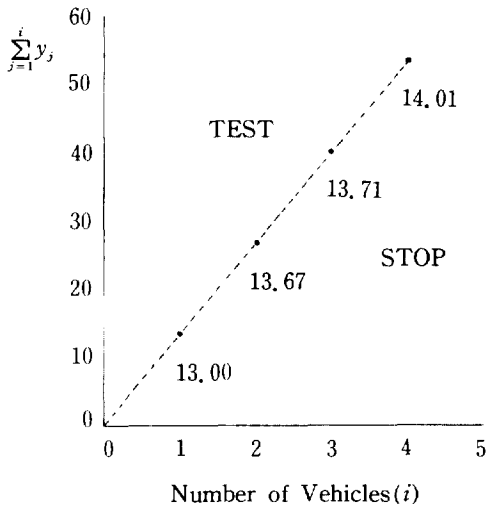


Fig. 2. Continuation Region (CO)

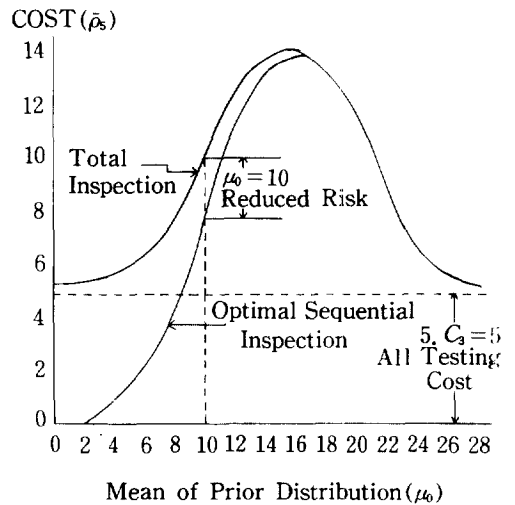


Fig. 3. Relative Costs of Optimal Sequential Inspection and Total Inspection(CO)

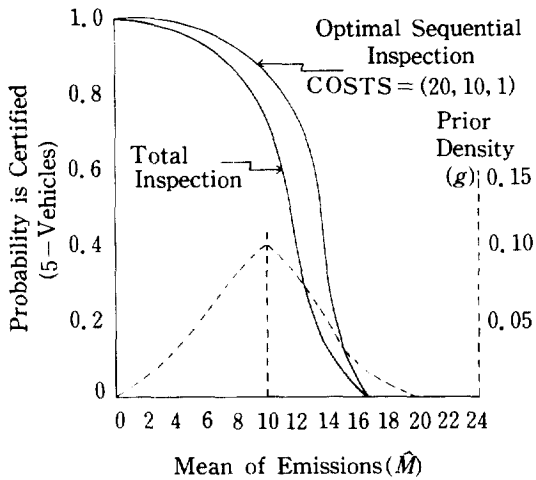


Fig. 4. Operating Characteristic Curve(CO)

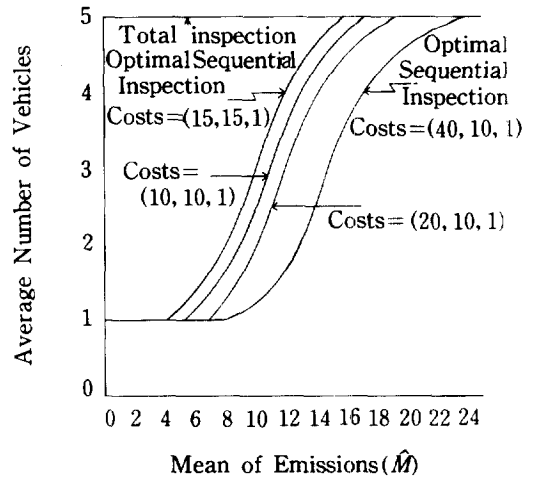


Fig. 6. Average Sample Number(CO)

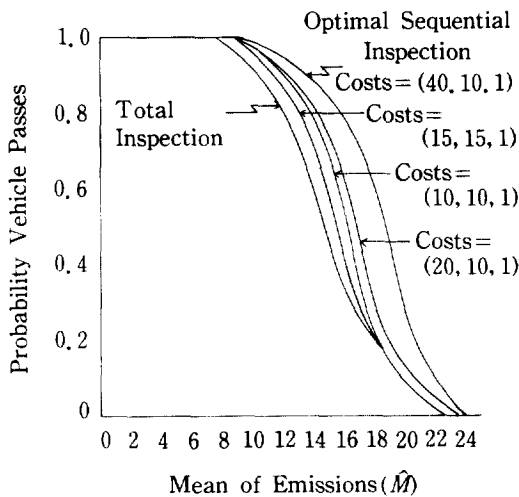


Fig. 5. Vehicle Operating Characteristic Curve(CO)

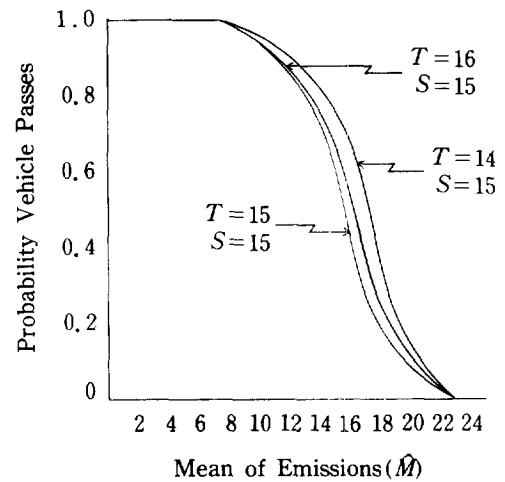


Fig. 7. Effect of Pass-Fail Threshold on Vehicle OC(CO)

7. 修正된 判定基準의 効果

배출가스의 측정결과 基準值 T 와 標準值 S 가 다르게 되는 것은 檢査項目의 참검사특성치

가 측정되기 때문이다. CO에 대한 앞의 예에서는 $S=T=15$ 로 가정했으나 Fig. 7, 8은 $S=15$ 로 같게 하고 T 의 값만 변화시킨 OC 함수와 ASN 함수를 나타내고 있다. 따라서 ASN 함수가

OC함수보다 T 의 변화에 민감함을 알 수 있다. Fig. 9는 T 값의 변화에 따라 합격확률과 불합격확률을 각각 플롯한 결과 T 값이 높으면 합격하기가 용이하고 T 값이 낮으면 합격하기가 곤란하다는 것을 확인할 수 있으며 이로 인해 기준치 T 의 값은 배출가스의 평균값에 따라 적절히 調整되어야함을 알 수 있다.

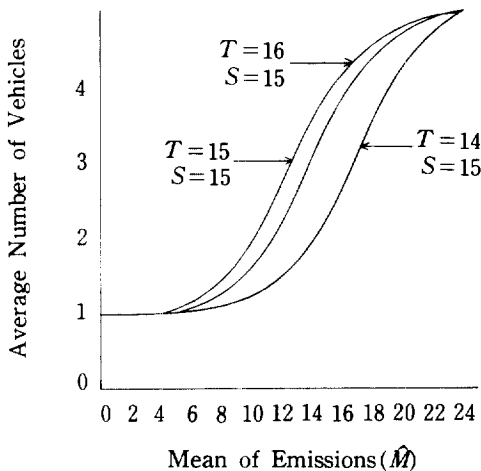


Fig. 8. Effect of Pass-Fail Threshold on ASN(CO)

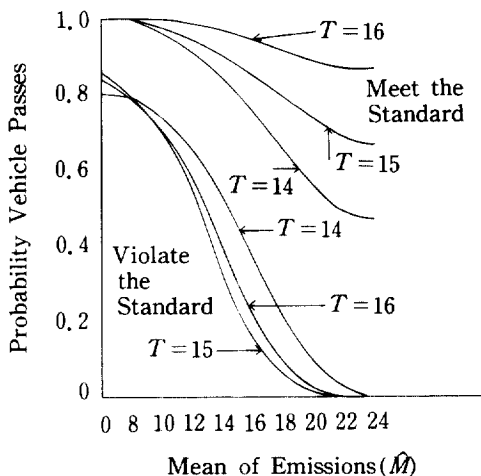


Fig. 9. Effect of Pass-Fail Threshold on Probability Passing Vehicles(CO)

8. 事前分布에 대한 效果

修正된 逐次檢査計劃은 사전분포의 모수값에 따라 전혀 다른 檢査計劃이 수립될 수 있으므로 檢査의 실효를 거두기 위해서는 보다 精確한 事前分布의 모수값을 알아야 한다. 따라서 이미 알고 있거나 추정된 事前분포의 平均品質로 부

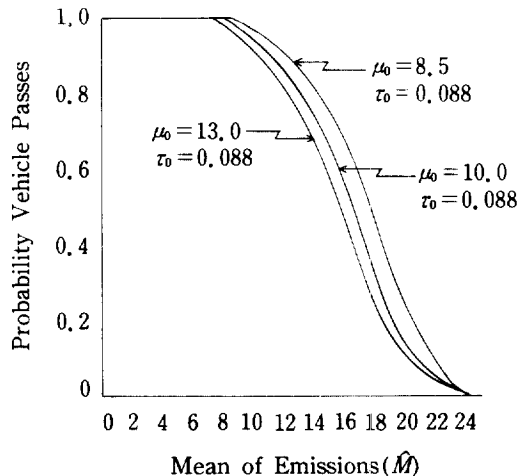


Fig. 10. Effect of Prior Mean on Vehicle OC(CO)

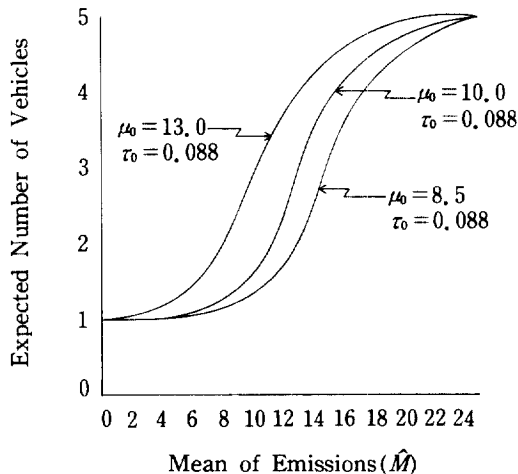


Fig. 11. Effect of Prior Mean on ASN(CO)

터 OC 함수나 ASN 함수를 비교해 보기로 한다. Fig. 10, 11은 τ_0 를 고정 시키고 μ_0 값을 변화시켜 OC 곡선과 ASN 곡선을 비교해 보았다. 이 결과 ASN 곡선이 μ_0 값의 변화에 민감함을 알 수 있다. Fig. 12, 13은 μ_0 를 고정시키고 τ_0 값을 변화시켜 OC 곡선과 ASN 곡선을 비교해 보았다. 이 결과 τ_0 값의 변화에 ASN 곡선이 더욱 민감함을 알 수 있다. 따라서 事前分布의 모수값은 ASN 함수에 더욱 민감하기 때문에 ASN을 고려한 事前分布의 母數값을 결정해야 됨을 알 수 있다.

9. 結 論

自動車排出가스의 效果的인 規制를 위해 開發된 修正된 逐次檢査計劃은 종래의 보증시험제도를 수정하여 개발하였다. 이 검사계획의 성능평가를 위해 최근의 국내 자동차제작회사에서 수집한 배출가스시험 데이터를 응용해 본 결과 검사비용과 판정기준 및 사전분포에 대한 효과를 분석할 수 있었다. 이 결과 본 논문에서 개발된 修正된 逐次檢査計劃은 規制基準를 만족하고 經濟性이 있는 최적계획임이 입증되었다. 따라서 자동차배출가스의 규제를 강화하고 보증시험 및 결합시정제도에 대처하기 위해서는 본 논문에서 개발된 검사계획을 활용하는 것이 효과적임이 판명되었다.

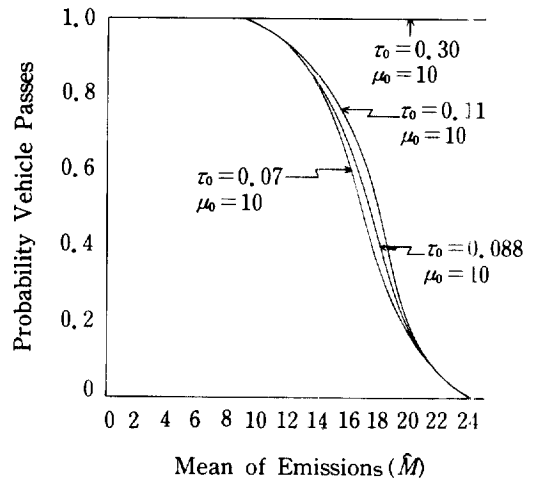


Fig. 12. Effect of Precision of Prior Distribution on Vehicle OC(CO)

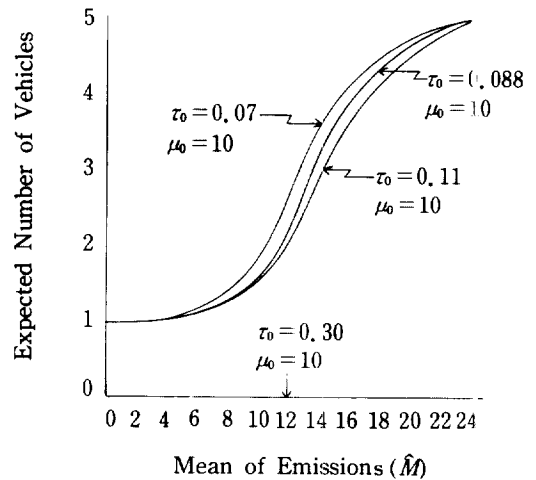


Fig. 13. Effect of Precision of Prior Distribution on ASN(CO)

参 考 文 献

1. Aroian, L. A. (1968), "*Sequential Analysis, Direct Method*," *Technometrics*, Vol. 10, pp. 125-132.
2. Aroian, L. A. (1976), "*Application of the Direct Method in Sequential Analysis*," *Technometrics*, Vol. , pp. 301-306.
3. Barnett, V. and Lewis, T. (1979), *Outliers in Statistical Data*, New York, John Wiley and sons, Inc..
4. Bellman, R. E. (1957), *Dynamic Programming*, Princeton University Press.
5. Box, G. E. P. and Cox, D. R. (1964), "*An Analysis of Transformations*," *Journal of Royal Statistical Soc. B*, 26, pp. 211-252.
6. Chernoff, H. and Ray, S. N. (1965), "*A Bayes Sequential Sampling Inspection Plan*," *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 36, pp. 1387-1407.
7. David, H. A. (1970), *Order Statistics*, New York, John Wiley and Sons, Inc..
8. DeGroot, M. H. (1970), *Optimal Statistical Decisions*, McGraw-Hill.
9. 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.
10. Dodge, H. F. and Romig, H. G. (1959), *Sampling Inspection Tables, Single and Double Sampling*, Second Edition, John Wiley and Sons, Inc..
11. 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.
12. Howard, R. A. (1960), *Dynamic Programming and Markov Processes*, The Massachusetts Institute of Technology Press.
13. Nemhauser, G. L. (1966), *Introduction to Dynamic Programming*, John Wiley and Sons, Inc..
14. 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.
15. Vander Waerden, V. L. (1960), "*Sampling Inspection as a Minimum Loss Problem*," *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 31, pp. 369-384.
16. Wald, A. (1947), *Sequential Analysis*, John Wiley and Sons, Inc..
17. Wald, A. (1950), *Statistical Decision Functions*, John Wiley and Sons, Inc..
18. Wetherill, G. B. (1975), *Sequential Methods in Statistics*, Halsted Press.
19. Wetherill, G. B. (1977), *Sampling Inspection and Quality Control*, Halsted Press.
20. Woodroffe, Michael (1976), "*Frequentist Properties of Bayesian Sequential Tests*," *Biometrika*, Vol. 63, pp. 101-110.
21. Wilks, S. S. (1963), *Multivariate Statistical Outliers*, *Sankhya A*, 25, pp. 407-426.