



# Coastdown Test를 이용한 주행저항 측정법 소개

박 정 국 · 현대자동차(주) 남양연구소

급속한 산업화와 차량의 지속적인 증가로 인한 대기오염이 심각한 사회 문제가 되고 있다. 1967년 미국 California州 大氣保全局(CARB : California Air Resources Board)설립을 계기로 시작된 배출가스 규제가 해를 거듭할수록 강화되고 있어 각 자동차 제작사에게 큰 부담으로 다가오고 있다. 각 국가에서는 배출가스 측정을 위한 차량 주행모드를 설정하고 실도로 주행시 차량에 작용하는 주행저항을 동력계(Dynamometer) 상에서 구현하여 모드 주행중에 발생하는 배출가스의 양을 측정하고 있다. 따라서 차량 개발단계에서의 배출가스 수준 측정 및 각 국가 환경부서 배출가스 인증을 위해서는 정확한 실도로 주행저항의 측정이 중요하다. 차량의 실도로 주행저항의 측정방법으로 타행시험(Coastdown Test)이 일반적으로 이용되고 있으며, 국가별로 시험차량 조건 및 시험방법에 약간 차이를 두고 있다.

국내와 미국에서는 EPA(Environment Protect Agency)에서 규정한 방법으로 Coastdown Test를 실시하며, EC와 일본은 서로 유사한 방법으로 시험을 실시하도록 규정하고 있다.

본고에서는 Coastdown Test를 이용해 주행저항을 측정하는 방법에 대한 일반적인 내용에 대해 살펴보고, 각 국가에서 규정한 시험방법 및 주행저항 계산과정에 대해 간단히 소개하겠다.

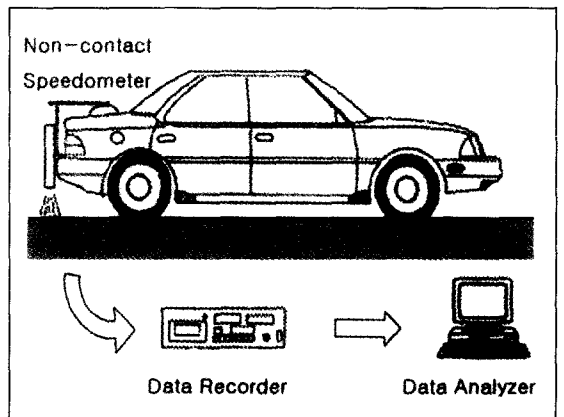
## Coastdown Test 방법 개요

### 1. 시험장비

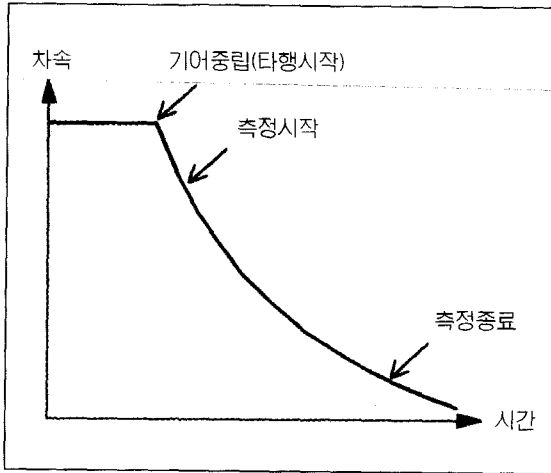
- 속도계 : 일반적으로 비접촉식 속도계(Non-contact Speedometer)를 사용한다.
- Data Recorder : 속도계에서 측정된 Data를 저장하여 분석시 활용할 수 있도록 한다.
- Data Analyzer : 측정된 Data를 분석하여 주행저항을 구한다(그림 1 참조).

### 2. 시험방법

<그림 2>의 시험모드와 같이 측정시작 차속보다 충분히 높은 차속으로 정속 주행 중 구배가 없는 직선로 구간에서 기어를 중립으로 하여 타행을



<그림 1> Coastdown Test 장



〈그림 2〉 Coastdown Test Mode

시작한다. 시험의 오차를 줄이고, Coastdown Test중 발생하는 바람의 영향을 상쇄하기 위해 동일 차속구간에 대해 바람에 대한 순방향과 역방향 타행을 교대로 수차례 반복 수행한다. Data 측정방법은 측정방식에 따라 일정 시간간격에 따른 차속의 변화를 측정하는 방법(EPA 방식)과 지정된 차속구간에 대한 감속 소요시간을 측정하는 방법(EC 방식)이 있다. Coastdown Test중 측정된 Data를 Data Recorder에 저장한 후 시

험이 완료되면 Data Analyzer에서 저장된 Data를 분석하여 시험중 차량에 작용한 주행저항을 구한다.

### 3. 분석방법

주행중인 차량에 작용하는 저항은 구름저항, 공기저항, 구배저항등이 있는데, Coastdown Test는 구배가 없는 직선로에서 이루어지므로 구배저항은 없다고 볼 수 있다. 바람이 없는 이상적인 조건에서의 Coastdown Test시 차량에 작용하는 저항은 차속에 무관하게 일정한 성분과 차속의 제곱에 비례하는 성분으로 나뉘어질 수 있으나, 실제로는 Coastdown 시험시 바람에 의한 주행저항이 추가되어 다음과 같이 차속에 대한 일차항이 존재하는 이차식의 주행저항이 차량에 작용하게 된다[1, 2].

$$-\frac{dV}{dt} = f_0 + f_1 \cdot V + f_2 \cdot V^2 \quad \text{〈식 1〉}$$

Data Analyzer를 사용하여 구해진 식 1의 계수들을 표준대기상태에 대해 주어진 방식으로 보정한 후 동력계에 적용하여 실도로에서의 차량에 작용하는 주행저항을 구현한다(주행저항 계수의

〈표 1〉 각 국가별 Coastdown Test 방법 비교

구분	국 내	EPA	EC	일 본
등가관성중량	50% Option CVW + 300lbs	33% Option CVW + 300lbs	CVW + 100kg	공차중량 + 110kg
Coastdown 시험중량	50% Option CVW - 60% 연료중량 + 1인 중량	33% Option CVW - 60% 연료중량 + 1인 중량	무관함 (중량보정 실시함)	공차중량 + 110kg
시험속도구간	60~20MPH	60~20MPH	125~15KPH	65~15KPH
측정방식	동일 시간간격에 대한 차속측정	동일 시간간격에 대한 차속측정	지정된 속도구간에 대한 감속소요시간 측정	지정된 속도구간에 대한 감속소요시간 측정
표준대기상태	대기온: 68°F 대기압: 29inHg	대기온: 68°F 대기압: 29inHg	대기온: 20°C 대기압: 100kPa	대기온: 20°C 대기압: 760mmHg
보정 항목	바람, 대기온, 대기압	바람, 대기온, 대기압	공기밀도, 차량중량	바람, 대기온, 대기압

계산 및 보정방식에 대해 국가별로 상이한 방식을 채택하고 있음).

### 각 국가별 Coastdown Test 방법 비교

각 국가별로 Coastdown Test 차량중량기준, 시험방법, 표준대기상태, 보정방법 등이 다소 상이하게 규정되어 있는데 중요한 사항들에 대해 요약해 보면 <표 1>과 같다[3, 4, 5].

국내와 EPA 방식은 동일한 시험방식을 채택하고 있으나, 등가관성중량 및 시험중량 산정기준이 다소 상이하다. 즉, 국내는 50%, EPA는 30% 이상의 선택사양을 장착한 공차중량을 기준으로 하여 등가관성중량 및 시험중량을 산정한다. 또 EC와 일본 인증시 시행되고 있는 Coastdown Test를 비교하면 측정방식과 주행저항 분석방식은 거의 동일하나, 차량중량 산정기준 및 주행저항 보정방식에 다소 차이가 있다. 각 국가별 Coastdown Test 방법에 대해 좀더 상세하게 알아보도록 하겠다.

### EPA Coastdown Test

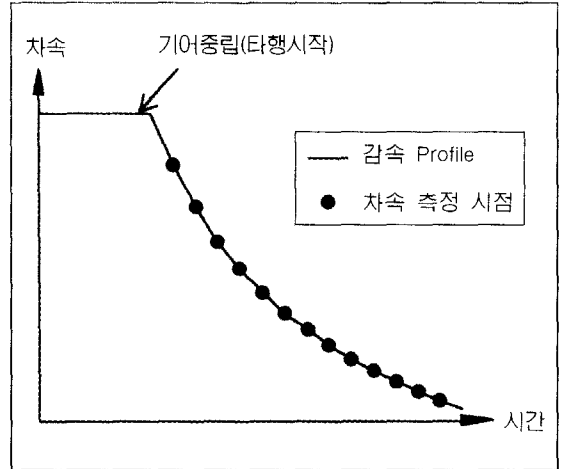
#### 1. 측정방식

EPA Coastdown Test에서는 <그림 3>과 같이 타행이 시작된 후 일정한 시간간격으로 차속을 측정하는 방식을 채택하고 있다. 시험의 정확성을 높이고, 바람에 의한 영향을 상쇄시키기 위해 바람에 대한 순방향과 역방향을 교대로 수차례 반복 시험한다.

#### 2. 분석과정

Coastdown Test는 풍속이 작은 경우에 실시하도록 규정하고 있어 바람의 영향은 크지 않다.

그러나 바람의 순방향과 역방향에 따른 감속 Profile은 꽤 큰 차이를 보이는데 이는 주행저항의 일차항이 바람의 방향에 따라 부호가 반대가



<그림 3> EPA Coastdown 측정 방식

되기 때문이다. 바람의 영향을 고려한 주행저항을 수식으로 나타내면 아래의 식 2와 같이 나타낼 수 있다[3].

$$-\frac{dV}{dt} = \{a_0 + a_2(\vec{w} \cdot \vec{s})^2 + g(\vec{\delta} \cdot \vec{s})\} - 2a_0(\vec{w} \cdot \vec{s})V + a_2 V^2 \quad \text{〈식 2〉}$$

여기서  $a_0$ ,  $a_2$ 는 주행저항계수,  $\vec{w}$ ,  $\vec{s}$ ,  $\vec{\delta}$ 는 각각 풍속벡터, 차량의 진행방향 단위벡터, 구배벡터를 의미한다. 식 2를 변수분리(Separation of Variables)한 후 적분하면 차속을 시간의 함수로 표현할 수 있다.

$$V = (B/a_2) \tan\{B(C - t)\} + (\vec{w} \cdot \vec{s}) \quad \text{〈식 3〉}$$

여기서  $V_0$ 는 시간(t)가 0일 때의 차속을 의미하며 B, C는 각각 식 4, 식5에 의해 정의된다.

$$B^2 = a_0[a_2 + g(\vec{\delta} \cdot \vec{s})] \quad \text{〈식 4〉}$$

$$C = \frac{1}{B} \tan^{-1} \left[ \frac{a_0 V_0 - a_2(\vec{w} \cdot \vec{s})}{B} \right] \quad \text{〈식 5〉}$$



Coastdown Test를 통해 측정된 실제 차속과 가장 근접한 계산치를 식 3으로 표현할 수 있도록 최소오차자승법(Least Square Method)을 사용하여  $a_0, a_2$ 를 구한다. Coastdown Test는 구배의 영향이 없는 직선로에서 바람에 대한 순방향과 역방향을 교대로 실시하므로 양방향에 대해 구해진 주행저항을 평균하면 차속에 대한 일차항이 상쇄되어 식 2를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$-\frac{dV}{dt} = \{a_0 + a_2(\bar{w} \cdot \bar{s})^2\} + a_2 V^2 \quad \text{〈식 6〉}$$

시험이 진행되는 동안의 풍속과 풍향을 측정하여 식 6에 존재하는 풍속의 영향을 제외시켜 주면 단일 왕복주행에 대한 주행저항 계수를 구할 수 있다. 수차례 반복시험을 통해 구해진 주행저항 계수들 중 속도계산치의 평균오차와 시험간 표준편차가 규정된 수준 이내를 만족하는 계수들을 선정하여 평균하면 전체 Coastdown Test동안의 평균 주행저항 계수를 구할 수 있다.

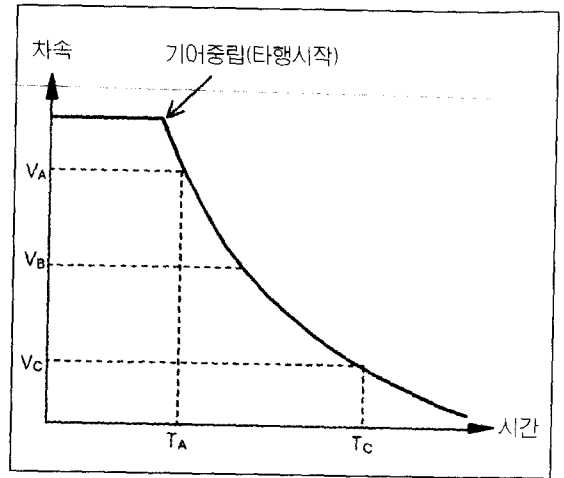
Coastdown Test가 항상 표준 대기상태에서만 실시할 수는 없으므로 지금까지 살펴본 방법으로 구해진 평균 주행저항 계수를 표준 대기상태에 해당하는 표준 주행저항 계수로 보정하게 된다. EPA Coastdown에서는 대기온, 대기압 변화에 따른 공기밀도 차이를 보정하고 대기온 변화에 따른 타이어 구름저항 차이를 보정하고 있다.

## EC Coastdown Test

### 1. 측정방식

EPA Coastdown Test에서는 일정한 시간간격으로 차속을 측정하는 반면, EC Coastdown Test는 지정된 속도구간에 대해 감속소요시간을 측정하는 방식을 채택하고 있다. 즉, 〈그림 4〉에 도시된 바와 같이 차속  $V_A$ 에서  $V_C$ 로 감속되는데 소요되는 시간( $T_C - T_A$ )을 측정한다.

시험의 정확도를 높이고 바람의 영향을 상쇄시



〈그림 4〉 EC Coastdown 측정 방식

키기 위해 동일한 속도구간에 대해 바람의 순방향과 역방향 타행을 교대로 수차례 반복시험을 실시한다. 각 타행시 구해진 감속소요시간들 중 표준편차가 규정된 수준 이내를 만족하는 것들을 선택한 후 평균하여 주어진 속도구간에 대한 평균 감속소요시간으로 채택한다.

### 2. 분석과정

EC Coastdown Test는 EPA Coastdown Test에 비해 비교적 단순한 방법으로 주행저항을 분석한다. 시험을 통해 구해진 평균 감속소요시간에 대한 보정을 먼저 실시하는데, 대기상태 보정을 위해 식 7과 같이 정의된 보정계수  $K$ 를 사용하고 있다.

$$K = \frac{R_R}{R_T} [1 + K_R (t - t_0)] + \frac{R_{aero}}{R_T} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \quad \text{〈식 7〉}$$

여기서,  $R_R, R_{aero}, R_T$ 는 각각 구름저항, 공기저항, 전주행저항(구름저항과 공기저항의 합)을 의미하며, EC 법규상의 Table 값을 이용하거나 풍동시험을 통한 공기저항 측정결과 자료와 Tire 제조업체의 구름저항계수 측정결과 자료를 이용

하여 구한다.

$t, \rho, t_0, \rho_0$ 는 각각 시험시 대기온, 시험시 공기 밀도(대기온과 대기압으로부터 계산), 표준 대기 온, 표준 공기밀도를 의미한다.  $K_R$ 은 구름저항에 대한 온도 보정계수로 실험식으로부터 구해진 값인  $8.64 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ 을 사용한다[4].

시험을 통해 측정된 평균 감속소요시간을 식 7로부터 구해진 보정계수  $K$ 를 사용하여 대기보정을 수행하고, 시험중량과 등가관성중량의 차이에 대한 질량보정을 수행하여 표준상태에 대한 감속소요시간을 구한다.

$$T_{\text{correct}} = \frac{\bar{T}_{\text{measur}}}{K} \cdot \frac{I}{M} \quad \langle \text{식 8} \rangle$$

여기서,  $I, M$ 은 각각 등가관성중량과 실제 Coastdown Test시 적용된 차량중량을 의미한다.  $\bar{T}_{\text{measur}}, T_{\text{correct}}$ 는 각각 시험을 통해 구해진 평균 감속소요시간과 이를 보정해서 구한 표준상태 감속소요시간을 의미한다. 식 8에서 구해진 표준 감속소요시간으로부터 각 차속 구간에서의 주행저항을 식 9와 같이 구할 수 있다.

$$F = I \cdot \frac{\Delta V}{T_{\text{correct}}} \quad \langle \text{식 9} \rangle$$

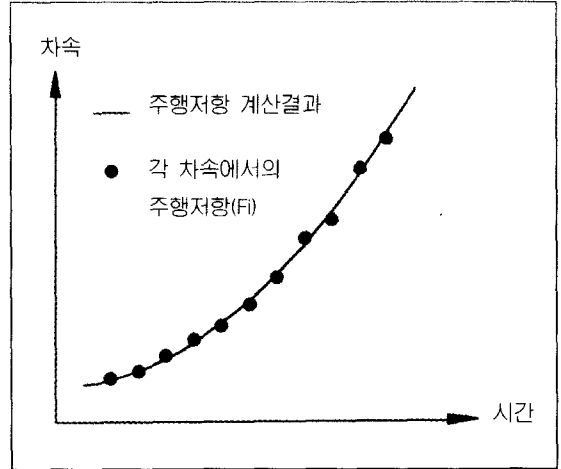
EC 인증시는 식 8에서 구해진 표준상태 감속소요시간이나 식 9에서 구해진 각 차속 구간의 주행저항이 구현될 수 있도록 동력계를 조정하여 인증을 실시한다.

## 일본 Coastdown Test

### 1. 측정방식

일본 Coastdown Test는 EC Coastdown Test와 차속구간에 다소 차이가 있을 뿐 동일한 방식으로 시험 및 측정을 실시한다.

### 2. 분석과정



〈그림 5〉 EC Coastdown 측정 방식

EC Coastdown Test와 동일한 방법으로 구해진 각 차속구간에 대한 평균 타행소요시간으로부터 주행저항을 구할 수 있다. 즉 그림 4와 같은 타행의 경우 주행저항 측정차속  $V_B$ 에서의 주행저항은  $\Delta V (= V_A - V_C)$ 와  $\Delta T (= T_A - T_C)$ 로부터 구할 수 있는데 이를 식으로 나타내면 식 10과 같이 표현된다.

$$F = M \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad \langle \text{식 10} \rangle$$

여기서,  $M$ 은 Coastdown Test시 적용된 차량중량을 의미한다. 일본 Coastdown Test에서는 주행저항을 식 11과 같이 상수항과 속도의 이차항의 합으로 규정한다.

$$F = a + b \cdot V^2 \quad \langle \text{식 11} \rangle$$

식 10으로부터 구해진 각 주행저항 측정차속 ( $V_i$ )에서의 주행저항 ( $F_i$ )을 만족하는 식 11의 계수를 구하기 위해 전체 속도구간( $n$ 개) 최소오차승법을 사용하면 주행저항 계수를 식 12, 식 13과 같이 표현할 수 있다[5].

$$a = \frac{\sum V_i^4 \sum F_i - \sum V_i^2 \sum V_i^2 F_i}{n \sum V_i^4 - (\sum V_i^2)^2} \quad \langle \text{식 12} \rangle$$



$$b = \frac{n \sum V_i^2 F_i - \sum V_i^2 \sum F_i}{n \sum V_i^4 - (\sum V_i^2)^2} \quad \langle \text{식 13} \rangle$$

〈그림 5〉는 식 10으로 정의된 각 차속에서의 주행저항( $F_i$ )과 식 12, 식 13으로부터 구해진 주행저항계수를 사용하여 식 11로 계산된 주행저항을 비교하여 그린 것이다. 식 12, 식 13의 주행저항 계수들은 Coastdown시의 대기온( $T_e$ ), 대기압( $P$ ), 주행방향 풍속( $W$ )을 표준 대기상태로 보정하여 동력계에 적용하며 보정식은 식 14, 식 15와 같다[5].

$$a_{STD} = (a - b \cdot W^2) \cdot [1 + 0.00864(T_e - 20)] \quad \langle \text{식 14} \rangle$$

$$b_{STD} = 2.59b \cdot \frac{T_e + 273}{P} \quad \langle \text{식 15} \rangle$$

〈참고문헌〉

1. Thomas P. Yasin, "The Analytical Basis of Automobile Coastdown Testing", SAE paper No. 780334, 1978.
2. "Road Load Measurement and Dynamometer Simulation Using Coastdown Techniques", SAE J1263 Jun91, 1991.
3. "Determination and Use of Alternative Dynamometer Power Absorber", EPA A/C No. 55c, 1986.
4. "Resistance to Progress of a Vehicle-Measurement Method on the Road-Simulation on a Chassis Dynamometer", Appendix of 70/220/EEC, 1995.
5. "10-Mode Fuel Economy Test Procedure for Gasoline-Fueled Moter Vehicles", TRIAS 5-2, 1990.

〈박정국 편집위원: ckpar@hyundai-motor.com〉