

〈논문〉 SAE NO. 943711

차량의 가속내구시험을 위한 TEST ROAD PROFILE 설계방법

Design Method of Test Road Profile for Vehicle Accelerated Durability Test

민 병 훈*, 정 원 욱**
B. H. Min W. W. Jung,

ABSTRACT

This report explain the basic theory of desinging the accelerating durability test road and the role of each factors contributing to test road surface profile. Also this road is designed by considering the charactors of vehicle suspension system and condition of driving. In test road, the factors affecting to the vehicle structural durability are correlation among surface shape of road profile, frequency of vehicle suspension system, distribution of axletwist angle and vibration profile height. Road PSD magnitude and frequency delay is used to control these factors relation.

주요기술용어 : PSD, Road Profile(노면형상), Phase Delay(위상차), Twist Angle(비틀림각), Step Height(높이차)

1. 서 론

신규차량을 개발하는데 있어서 3년내지 5년의 긴시간이 소요되고 있으며 이중 내구력 및 성능을 확인하기 위한 Test 기간은 1년내지 2년정도이다. 이 Test 기간동안에 차량이 고객의 손에 인도되어 폐차될때 까지 나타날 수 있는 현상을 압축하여 그대로 재현하는것이 필요하다. 특히 차량의 Body Structure, Suspension Part의 내구력을 확인하기 위하여 실차주행을 하는데 고객조건인 10년~20년간의 Test를 한다는것은 불가능한 일이다. 이에따라 고객조건의 10년~20년간에 나타날 수 있는 Failure양상을 1년 이내 혹은 수개월만에

정확히 재현해 내어야 하는데 이때는 차량을 일반도로에 비해서 Road Profile이 가혹한 길을 달려서 평가할 수도 있고 또한 차량에 Weight를 더하여 가혹도를 달리하여 평가할 수가 있다. 이때 중요한 것은 차량을 가혹하게만 평가한다는 것이 아니라 얼마나 유사하게 재현해 낼 수 있는가이다. 어느한 부위가 가혹하게 평가되게 해서도 안되며 어느 한부위가 약하게 평가되어서도 안된다. 즉 가속내구시험을 실시한 차량은 Field에서 실제주행한 차량의 상태를 어느부분에서나 정확히 재현하여야 한다. 노면가혹도²⁾ 평가는 개발차량을 Road Profile이 다른 각 노면을 주행하여 차량에 미치는 Input Stress양을 비교

* 현대자동차

** 정희원, 현대자동차

하여서 평가하기도 하는데 이는 각 Maker에 따라 다른 특성있는 평가를 하여 Field와 Match하고 있다. 여기서는 내구시험용 road를 설계하는데 있어서 초기 설계방법에 대하여 논하고 각 Road 설계시 이에 영향을 미치는 여러가지 Factor의 개별적 영향을 분석하였다. 우선 각 Frequency에서의 PSD의 양에 따라서 표현되어지는 Road profile을 분석하였다. 이때 Frequency Range는 개략적인 Road Profile을 결정짓는 Low Frequency, 이웃한 지점간의 높낮이(Step Height)를 결정하는 Medium Frequency 및 High Frequency 3 단계로 구분하여 각 Frequency에 따른 PSD의 양과 Road Profile관계를 정립하였으며 이때 차량이 받을 수 있는 비틀림정도 분포에 대하여 분석하였다. 이후 Phase Delay에 따른 Road의 구성 특징을 살폈으며 Suspension의 특성을 추가한 최적 Road Profile과 Road의 높낮이 차이에 의해 차량의 Fatigue에 영향을 주는 주요 Frequency 영역을 제시하였다. 이 Report에서는 승용차 기준으로 작성되었으며 주요요소로는 PSD, Axle Twist Angle, Road의 Step Height분포등을 중심으로 분석하였다.

2. 가속내구용 Test Road 설계 Procedure

가속내구시험용 Road설계의 Procedure Fig.1과 같다.

3. PSD 선도와 ROAD SURFACE PROFILE의 관계¹⁾

Road 설계에 있어서 어느기준 Road의 PSD(Power Spectral Density)란 X축상으로 거리, Y축상으로 변위를 갖는 Random한 Road Profile Signal이 있을때 이를 각각 주파수대역으로 나누고, 각 주파수 대역에 대한 진폭의 Energy개념을 평면상에 표시한 것이다. Road의 설계에 있어서 기초가되는 Data이며 기 발표된 Report에 각국 시험 Road의 PSD 선도가 일부 게재되어있다. 그러나 PSD선도만 가지고는 Road가 어느정도의 가속도를 가지는지 추론해 낼 수 없고, 같은 PSD 선

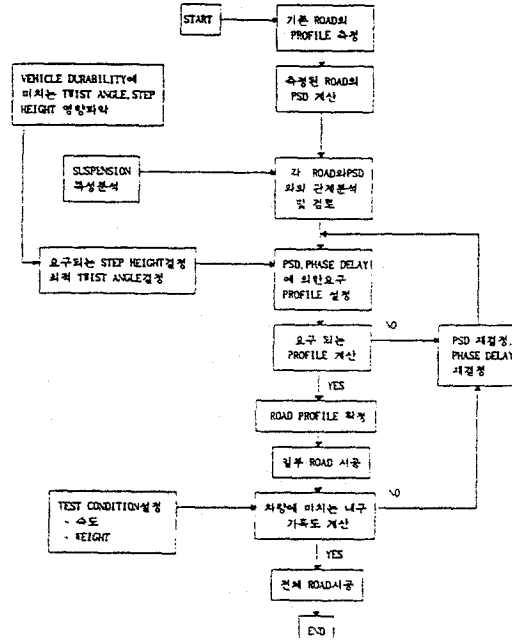


Fig.1 가속내구시험로 DESIGN방법

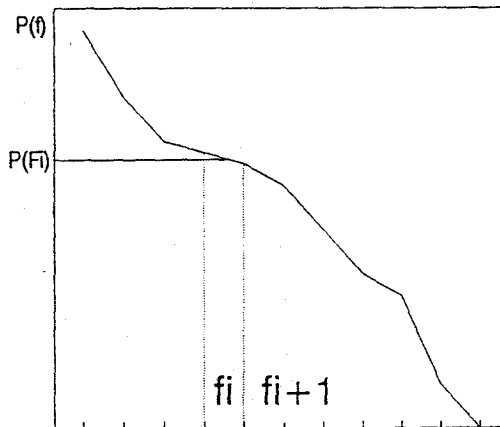


Fig.2 대역으로 분할된 PSD선도

도일지라도 선정된 Phase Delay에 따라 달라진다. PSD 구성상의 Frequency영역은 차량의 Structural Fatigue에 영향을 미치는 진동수를 고려하여 차량의 주행조건을 대부분을 포함할 수 있도록 0.025 cycle/m에서 5 cycle/m 정도로 설정하고 있다. 일반적으로 저주파영역의 Magnitude가 크면 전체적인 Road의 높낮이에 영향을 주고, 고주파영역의 Magnitude가 크면 이웃한 지점간의 높이차

에 큰 영향을 준다. 주어진 파형의 PSD값 $P(f)$ 와 Mean Square Value(σ^2)와의 관계는 $\sigma^2 = \int_0^\infty P(f) df$ 이므로 임의 선정된 Frequency상의 sinusoidal한 파형의 mean square value와 power spectral density 사이에는

$$\sigma_i^2 = \int_{f_i}^{f_{i+1}} P(f) df$$

의 관계가 있다.

위식을 f_i 와 f_{i+1} 의 관계로 나타내어 보면

$$\sigma_i^2 = \int_{f_i}^{f_{i+1}} P(F_i) df$$

$$\sigma_i^2 = P\left(\frac{f_i + f_{i+1}}{2}\right) \times (f_{i+1} - f_i)$$

$$\sigma_i = \sqrt{P\left(\frac{f_i + f_{i+1}}{2}\right) \times (f_{i+1} - f_i)}$$

$$= \sqrt{P(F_i) \cdot \Delta f}$$

$$F_i = \frac{f_i + f_{i+1}}{2}, \Delta f = f_{i+1} - f_i$$

여기서 진폭이 root mean square value인 σ_i 를 갖고 주파수 F_i 인 정현파가 있다면 이는 $y = \sqrt{2} \sigma_i \sin 2\pi F_i(X + \xi)$ 인 정현파 방정식으로 표현된다.

ξ : 위상차

$\sqrt{2} \sigma_i$: 진폭

F_i : 주파수

이를 그림으로 나타내면

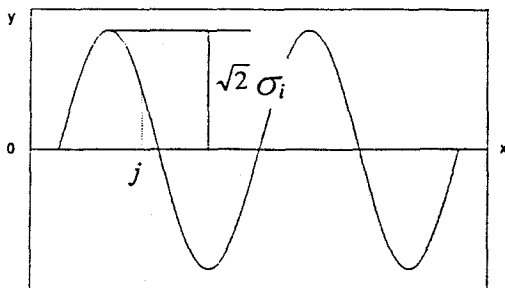


Fig.3 Sine Wave

여기서 X좌표상으로 j번째인 곳의 높이 y_j 를 구해보면

$$y_j = \sqrt{2} \sigma_i \sin 2\pi(X_j + \xi)$$

j번째 좌표에 있는 높이 y_j 를 각 주파수별로 구하여 이를 전부 산술적으로 더하면 j번째 좌표의 노면변위 Y_j 가 된다.

$$Y_j = \sum_{i=1}^n \sqrt{2} \sigma_i \sin 2\pi F_i(X_j + \xi_i)$$

이를 그래프로 표시해보면

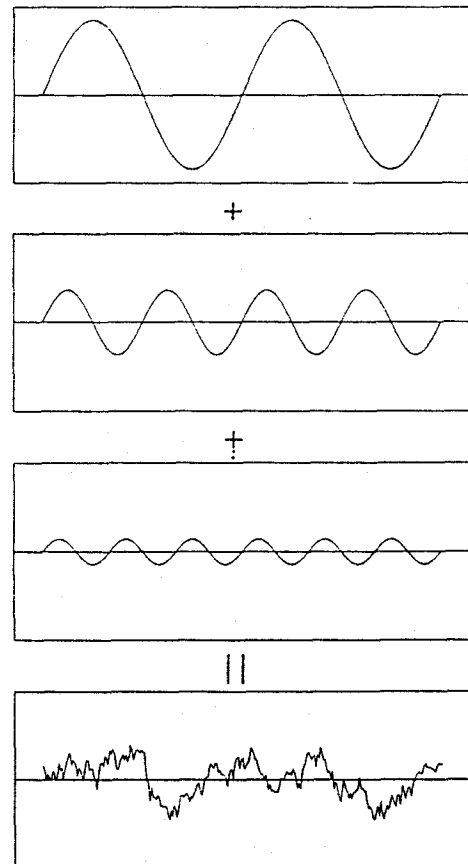


Fig.4 Summation of amplitude

ξ 는 phase delay를 나타내는 random value이며 높이를 크게 좌우하는 low frequency에서의 위상차 ξ 는 case별로 영향력을 검토하여 임의 설정하였다. 이리하여 차량의 진행방향인 하나의 종단면에 대한 road profile이 완성되는데 길의 폭의크기에 따라 수개-수십개의 profile이 만들어 질수 있는데, 이때는 설정하는 phase delay에 따라 각각 다른 road profile이 만들어 진다. 이렇게 만들어진 road는 자기 독립적으로 유지되어 횡단면 상으로 높이가 random하게 변화되어 경우에 따라서 급격한 높이차를 유발할 수 있다. 이는 차가 일직선상으로 주행하면 같은 종단면이기 때문에 일정한 profile상을 달릴수 있으나 지그재그로 운전할 경우는 다른 종단면 profile로 급격히 이동하게되므로 원하는 profile상을 달리지 않게된다. 이를 방지하기위해 종단면 profile을 몇개걸러 한개씩 결정하고 이점들이 일정한 곡선에 획귀되는 횡단면상의 profile이 되도록한다. 여기서는 3차원 방정식에 획귀하도록 하였다. 이것은 종단면 profile을 4개 만들어 이 4곳의 road를 우선결정하여 이들 4점을 통과하는 3차원 식을 구하고 사이사이의 높이는 X축의 거리에 따라 Y축의 높이가 자동설정 되도록 하였다.

3.1 위상차 설정

지정된 부위의 높이는 계산식에 의해 $Y_j = \sum_{i=1}^n \sqrt{2} \sigma_i \sin 2\pi F_i(X_j + \xi_i)$ 인데 각 profile의 경우 frequency영역을 0.025cycle/m에서 5cycle/m사이를 등간격의 200개로 나누어 이를 정현파의 합으로 산출하였는데 비슷한 주기를 갖는 정현파들이 겹쳐질때, peak인 경우 더욱 높아지고 valley인 경우 더욱 낮아져 road profile은 같은 PSD일지라도 판이하게 달라질 수 있다. 따라서 이를 피하기위해 위상을 적절히 조절할 필요가 있다. road 설계시에는 0.1cycle/m미만의 주파수를 갖는 3개의 정현파에 대하여 위상차를 설정하였고 0.1 cycle/m이상의 주파수에 대해서는 위상차를 random하게 처리하였다. 횡으로 선정된 4개의 profile에 대해서도 횡적 위치에 따른 위상편이를 동시에 적용하여 twist가 적절히 적용되도록 하였다. 한 예로서 선정된 저주파영역의 위상편위는

다음과 같다.

Table 1 Phase delay의 예

기준 종단면 정현파	1	6	13	18
0.025c/m(40m)	0	1/12	1/8	1/4
0.050c/m(20m)	1/3	1/3+1/12	1/3+1/8	1/3+1/4
0.075c/m(13.3m)	1/2	1/2+1/12	1/2+1/8	1/3+1/4

3.2 PSD 영향

PSD의 영향을 Frequency에 따라 세가지 영역으로 나누어 분석하였다.(Fig.5, Fig.6, Fig.7 : Low Frequency Range(0.075cycle/m이하), Medium Frequency Range(0.08-0.5cycle/m), High Frequency Range(0.5cycle/m이상)). Low Frequency영역에서는 PSD량이 커질수록 Road Profile의 고저차도 커진다. PSD가 증가함에 따라 Twist Angle도 증가하나 Step Height는 변하지 않는다. 따라서 PSD량과 Twist Angle과는 선형적 비례관계가 있으나 Step Height는 무관함을 알 수 있다. Low frequency에서 PSD를 바꿀때 종단면 Road Profile의 기본형상은 바뀌지 않았음을 알수 있으며 (peak to peak수평거리같음) 이의 수정을 위해서는 최저 Frequency Band를 바꾸면 가능하다. Medium Frequency 영역에서는 PSD가 커질수록 Road Profile의 전체적인 고저차이가 어느정도 커지며, Twist Angle도 그에 따라 증가하나 그 정도는 미약하며 반면 Step Height가 현격히 변화한다. High Frequency 영역에서는 PSD량이 커질수록 Step Height, Twist Angle, 고저차가 모두 조금씩 올라가지만 전체적인 큰흐름의 profile은 변하지 않고 비슷하다.

PSD가 Road Profile(Fig.8-Fig.13), Twist Angle Distribution(table.2, Fig.14-Fig.15)과 Step height distribution(Table.3, Fig.16-Fig.17)에 미치는 영향은 다음과 같다.

3.3 PHASE DELAY의 영향

Low Frequency Area에서의 Phase Delay는 Step Height를 변화시키지 않으며 Twist Angle과 진폭을 현격히 변화시킨다.(Table.5, 10, 11 Fig.19, 24, 26) Case1을 +0.5 Phase Delay를 하면 반대

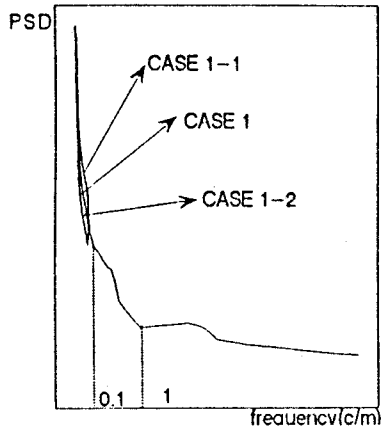


Fig.5 Low frequency change

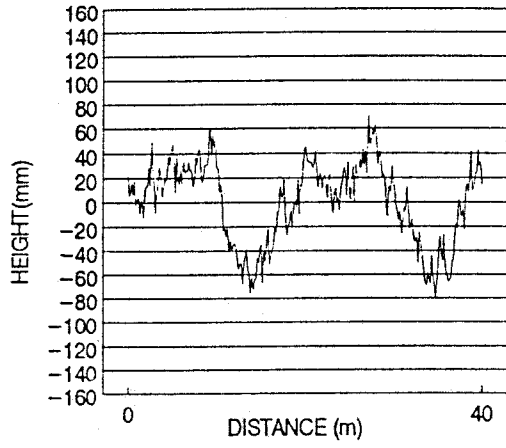


Fig.8 Road profile of case 1

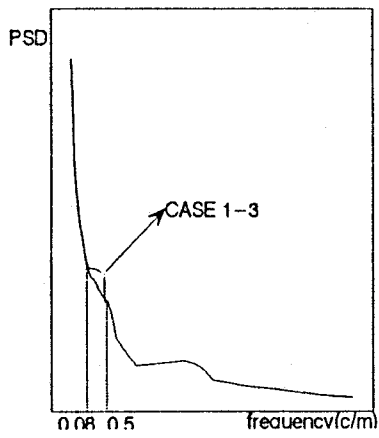


Fig.6 Medium frequency change

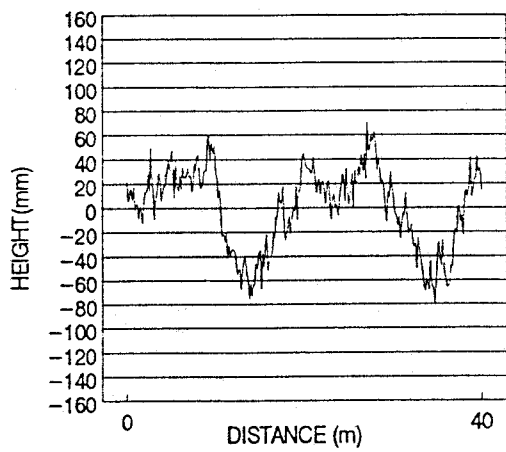


Fig.9 Road profile of case 1-1

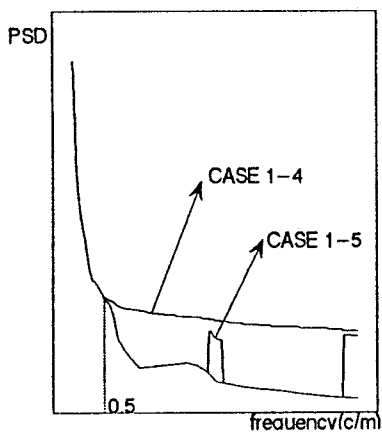


Fig.7 High frequency change

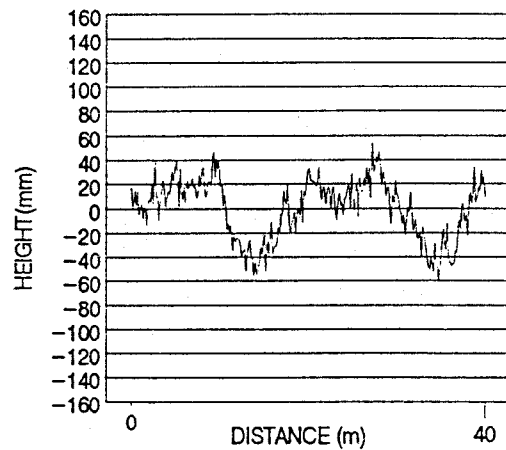


Fig.10 Road profile of case 1-2

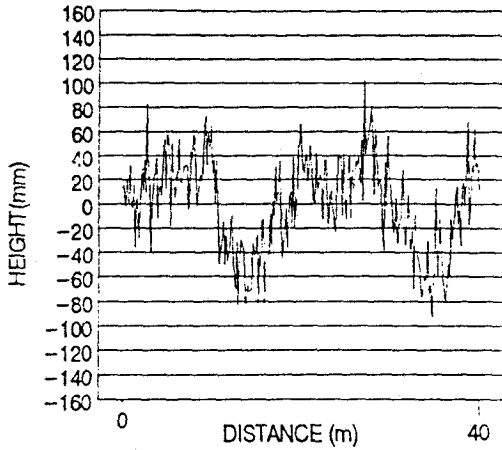


Fig.11 Road profile of case 1-3

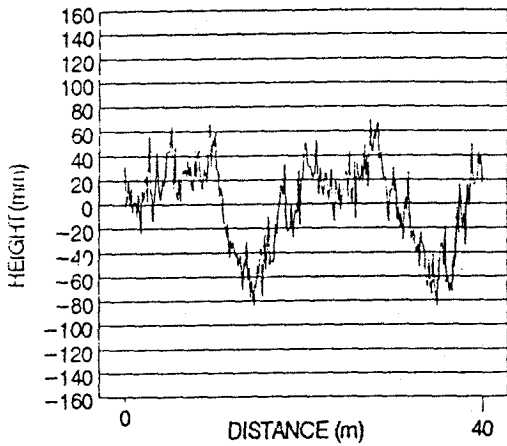


Fig.12 Road profile of case 1-4

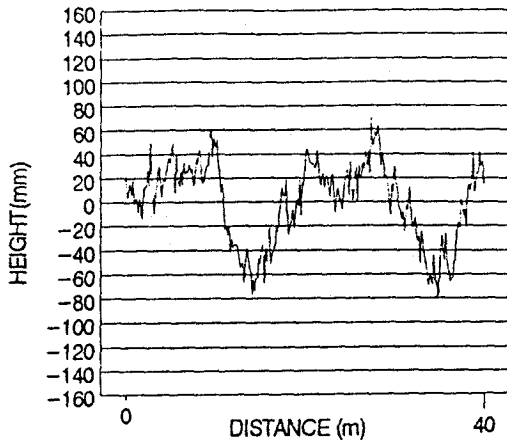


Fig.13 Road profile of case 1-5

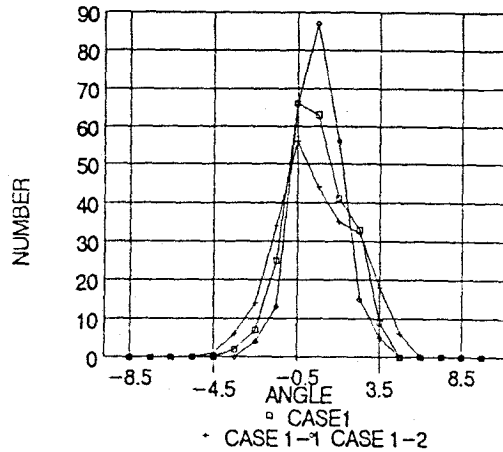


Fig.14 Twist angle distribution

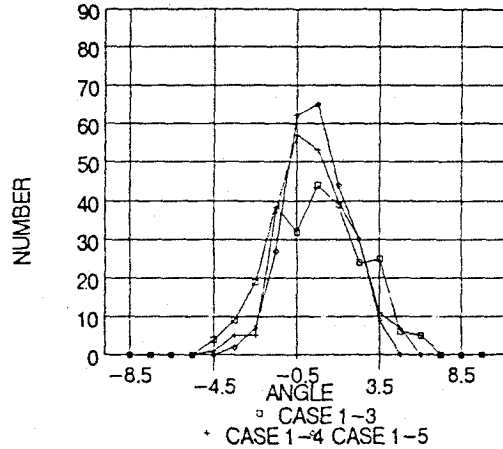


Fig.15 Twist angle distribution

로된 Road Profile이 된다.(Table.6, 10, 11 Fig.20, 24, 26) Low Frequency 영역에서 초기 몇개의 Peak Point를 동일하게 맞추면 최고, 최저의 높이차가 Maximum이 된다.(Table.7, 10, 11 Fig.21, 25, 27) Medium Frequency Area에서의 Phase Delay는 Road Profile, Step Height, Twist Angle에 변화를 주지 않으며, High Frequency Area에서도 Phase Delay는 Road에 전혀 영향을 미치지 않으므로 Medium frequency 이상에서의 phase delay는 특별히 고려하지 않아도 되는 항목이다.(Table.8, 9, 10, 11 Fig.22, 23, 25, 27) 일반적으로 모든 Phase Delay를 똑같이 둔 채 하단의 종단면중 제일 Low frequency의 Phase Delay를 바꿀 경우 Twist Angle, Step Height 분포는 비슷하며 Surface Profile의 모양만 변할뿐이다.

Table 2 Twist angle distribution

twist angle	no. of case 1	no. of case 1-1	no. of case 1-2	no. of case 1-3	no. of case 1-4	no. of case 1-5
-8.5	0	0	0	0	0	0
-7.5	0	0	0	0	0	0
-6.5	0	0	0	0	0	0
-5.5	0	0	0	0	0	0
-4.5	0	1	0	4	1	0
-3.5	2	6	0	9	5	2
-2.5	7	14	4	19	5	7
-1.5	25	34	13	39	37	27
-0.5	66	56	66	32	57	62
0.5	63	44	87	44	53	65
1.5	41	35	56	39	40	44
2.5	33	32	15	24	30	30
3.5	9	18	5	25	11	9
4.5	0	6	9	6	7	0
5.5	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	5	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0
9.5	0	0	0	0	0	0

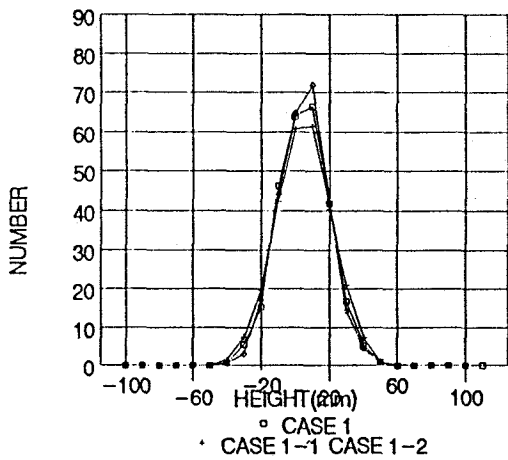


Fig.16 step height distribution

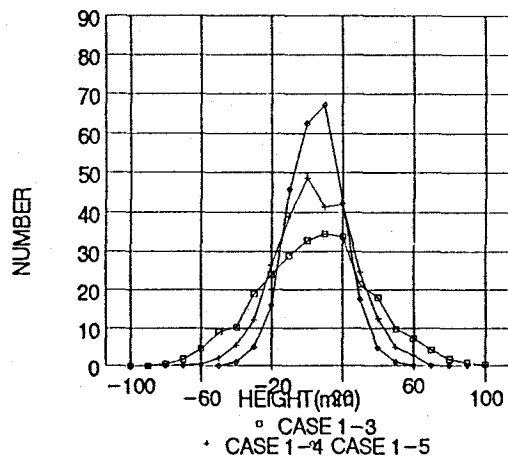


Fig.17 step height distribution

Table 3 Step height distribution

step height	no. of case 1	no. of case 1-1	no. of case 1-2	no. of case 1-3	no. of case 1-4	no. of case 1-5
-100	0	0	0	0	0	0
-90	0	0	0	0	0	0
-80	0	0	0	1	0	0
-70	0	0	0	2	0	0
-60	0	0	0	5	0	0
-50	0	0	0	9	0	0
-40	1	2	1	10	6	1
-30	6	8	3	19	12	5
-20	15	20	17	24	27	16
-10	46	42	44	29	39	46
0	64	61	65	33	49	63
10	67	62	72	35	41	67
20	42	40	42	34	42	42
30	17	21	14	22	25	18
40	5	7	5	18	13	5
50	1	1	1	10	5	1
60	0	0	0	7	3	0
70	0	0	0	4	0	0
80	0	0	0	2	0	0
90	0	0	0	1	0	0
100	0	0	0	0	0	0
MAX height	76.6	101.3	59.1	102.1	85.3	76.7
MIN height	-103.3	-138.5	-78.4	-123.5	-118.8	-103.0
difference	179.9	239.8	137.5	225.6	204.1	179.7

Table 4 Phase delay of case 1

frequency (c/m)	basic road profile			
	1st	6th	13th	18th
0.025	0	0.0833	0.125	0.25
0.05	0.333	0.416	0.458	0.583
0.075	0.5	0.533	0.625	0.75
0.1	0.529	0.026	0.549	0.794
0.125	0.197	0.014	0	0.379
0.15	0.71	0.702	0.107	0.475
0.175	0.425	0.987	0.693	0.56
0.2	0.573	0.965	0.527	0.885
0.225	0.865	0.201	0.957	0.74

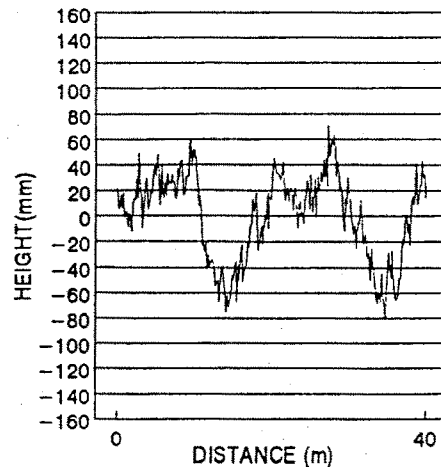


Fig.18 Road profile of case 1

Table 5 Phase delay Change of low frequency : case 1-A

frequency (c/m)	basic road profile			
	1st	6th	13th	18th
0.025	0.5	0.583	0.625	0.75
0.05	0.833	0.916	0.958	0.083
0.075	0.0	0.033	0.125	0.25
0.1	0.529	0.026	0.549	0.794
0.125	0.197	0.014	0	0.379
0.15	0.71	0.702	0.107	0.475
0.175	0.425	0.987	0.693	0.56
0.2	0.573	0.965	0.527	0.885
0.225	0.865	0.201	0.957	0.74
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

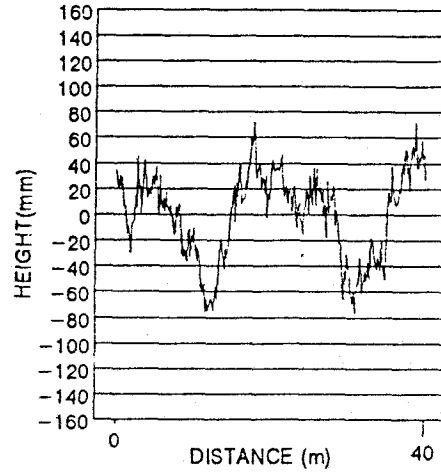


Fig.19 Road profile of case 1-A

Table 6 +0.5phase delay chane of low frequency : case 1-B

frequency (c/m)	basic road profile			
	1st	6th	13th	18th
0.025	0.5	0.583	0.625	0.75
0.05	0.833	0.916	0.958	0.083
0.075	0	0.033	0.125	0.25
0.1	0.529	0.026	0.549	0.794
0.125	0.197	0.014	0	0.379
0.15	0.71	0.702	0.107	0.475
0.175	0.425	0.987	0.693	0.56
0.2	0.573	0.965	0.527	0.885
0.225	0.865	0.201	0.957	0.74
0.25	0.998	0.976	0.196	0.89

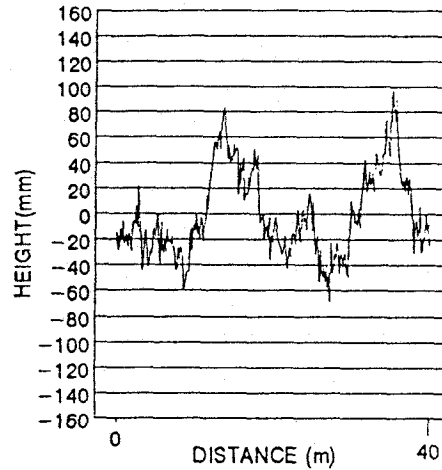


Fig.20 Road profile of case 1-B

Table 7 the same peak point of phase delay
: case 1-C

frequency (c/m)	basic road profile			
	1st	6th	13th	18th
0.025	0	0	0.5	0.5
0.05	0.25	0.25	0.75	0.75
0.075	0.75	0.75	0.25	0.25
0.1	0.75	0.75	0.25	0.25
0.125	0.197	0.197	0.697	0.697
:	:	:	:	:
4.925	0.583	0.583	0.083	0.083
4.95	0.441	0.441	0.941	0.941
4.957	0.04	0.201	0.957	0.0
5	0.486	0.486	0.986	0.986

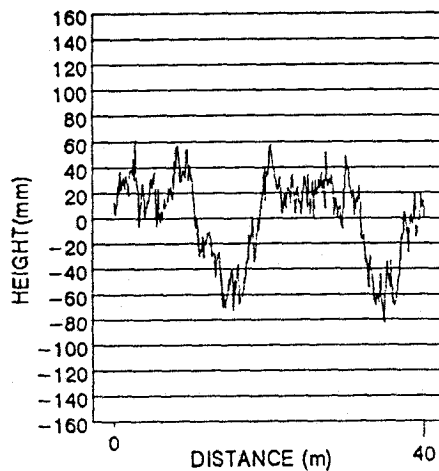


Fig.21 Road profile of case 1-C

Table 8 Phase delay change of medium frequency : case 1-D

frequency (c/m)	basic road profile			
	1st	6th	13th	18th
0.025	0	0.0883	0.125	0.25
0.05	0.333	0.416	0.458	0.583
0.075	0.5	0.533	0.625	0.75
0.1	0.529	0.026	0.549	0.794
0.125	0.197	0.014	0	0.379
0.15	0.71	0.702	0.107	0.475
:	:	:	:	:
1	0.573	0.965	0.527	0.885
1.025	0.134	0.176	0.178	0.472
1.05	0.998	0.976	0.196	0.89

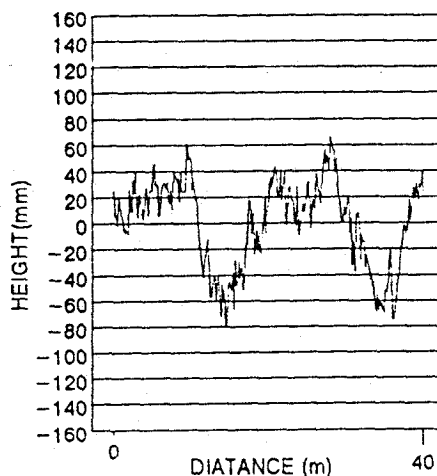


Fig.22 Road profile of case 1-D

Table 9 Phase delay change of medium frequency : case 1-E

frequency (c/m)	basic road profile			
	1st	6th	13th	18th
0.095	0.284	0.697	0.424	0.996
0.975	0.163	0.83	0.147	0.819
1	0.244	0.048	0.171	0.279
0.025	0.486	0.369	0.788	0.497
1.05	0.04	0.224	0.912	0.237
1.075	0.0441	0.129	0.402	0.394
:	:	:	:	:
4.95	0.533	0.55	0.562	0.806
4.925	0.38	0.495	0.773	0.768
5	0.134	0.176	0.178	0.472

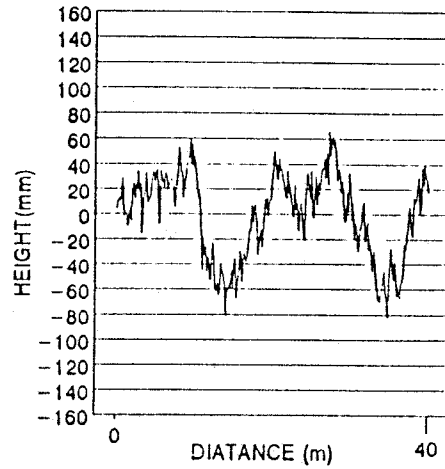


Fig.23 Road profile of case 1-E

Table 10 Twist angle distribution

twist angle	no. of case J	no. of case 1-A	no. of case 1-B	no. of case 1-C	no. of case 1-D	no. of case 1-E
-8.5	0	0	0	0	0	0
-7.5	0	0	0	0	0	0
-6.5	0	0	0	0	0	0
-5.5	0	0	0	0	0	0
-4.5	0	3	0	11	0	0
-3.5	2	7	0	14	5	1
-2.5	7	30	9	14	4	8
-1.5	25	46	28	20	25	29
-0.5	66	29	54	42	73	58
0.5	63	32	69	31	58	56
1.5	41	35	44	27	53	58
2.5	33	30	33	20	27	31
3.5	9	18	7	15	6	4
4.5	0	13	2	0	0	1
5.5	0	0	0	17	0	0
6.5	0	3	0	4	0	0
7.5	0	0	0	3	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0

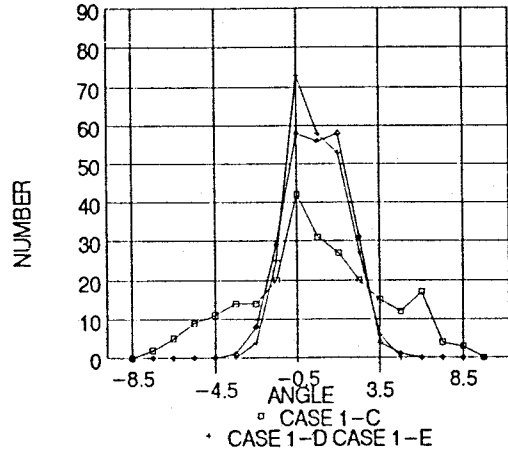
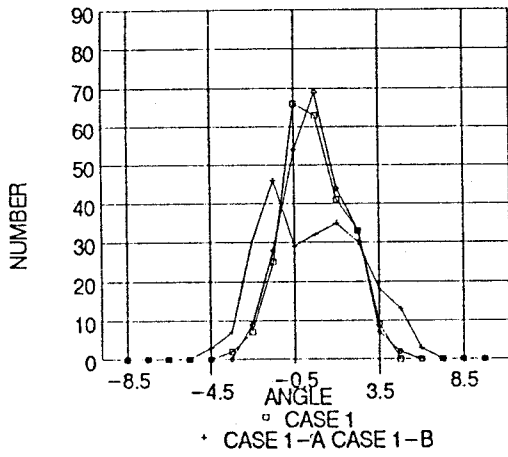


Table 11 Step height distribution

step height	no. of case 1	no. of case 1-A	no. of case 1-B	no. of case 1-C	no. of case 1-D	no. of case 1-E
-100	0	0	0	0	0	0
-90	0	0	0	0	0	0
-80	0	0	0	0	0	0
-70	0	0	0	0	0	0
-60	0	0	0	0	0	0
-50	0	0	0	0	0	0
-40	1	1	1	2	1	1
-30	6	6	6	5	4	5
-20	15	16	16	19	19	18
-10	46	43	46	45	41	44
0	64	65	61	62	66	37
10	67	69	67	61	74	64
20	42	41	45	46	36	42
30	17	16	17	19	16	17
40	5	6	5	5	6	5
50	1	1	1	1	1	2
60	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0
MAX height	76.6	91.4	97.4	113.0	74.0	72.6
MIN height	-103.3	-92.5	-72.2	-126.5	-114.1	-102.5
difference	179.9	183.9	169.6	239.5	188.1	175.1

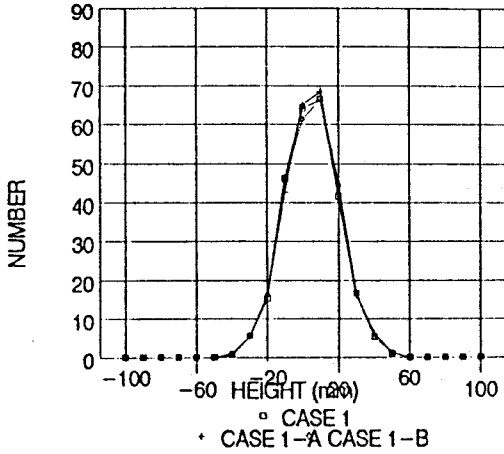


Fig.26 step height distribution

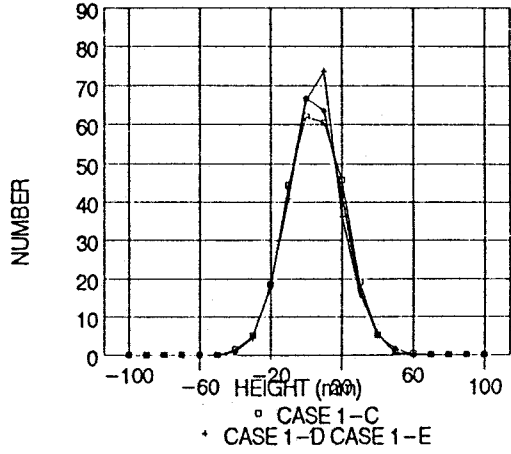


Fig.27 step height distribution

4. Road profile과 차량suspension과의 관계

차량의 전체적인 수직방향의 진동은 suspension에 따라서 각기 다른 특성을 지니게 된다. 따라서 road profile의 main주파수가 차량 suspension의 고유주파수와 일치하게 되면 road와 차량은 공진을 일으켜 차량의 상하진동은 더욱 증폭된다. 따라서 road profile의 설계에 있어서 공진이 심할때는 차량에 Impact성 damage를 주게 되고, 너무완만할때는 가속내구의 의미가 없어지므로 순수 Road profile에 의해서 비틀림 및 상하진동에 의한 fatigue를 받도록 설계하여야 한다. 보통 차량의 wheel base는 2200mm-2800mm 사이에 있게 된다. 이와같이 차량이 4.4m-5.6m주기의 Road를 달릴때 가장 가혹한 조건이 되고 Road의 Profile주기가 Suspension의 진동주기와 일치되면 공진을 일으켜 차량에 Impact성 충격을 주게 되므로 이를 피하기 위해서 이 영역의 PSD를 낮춰 조정한다. 한 예로 차량 'X'가 Fig.28 A Road에서 주행할때 비정상적인 충격을 받는다면 진동을 분석한 결과는 Fig.29이다. Fig.29에서 1.7Hz영역에서 PSD가 높음을 알 수 있다. 차량속도 35 KPH에서 1.7Hz는 주기 5.7m인 Sine Wave를 나타내며 차량의 Wheel Base를 고려할때 이속도에서 공진을 일으킴을 알 수 있다. 이 공진현상을 피하기 위해 1.7Hz에서의 PSD가 감소되어야 한

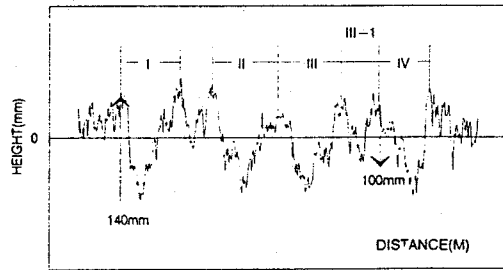


Fig.28 Example road A

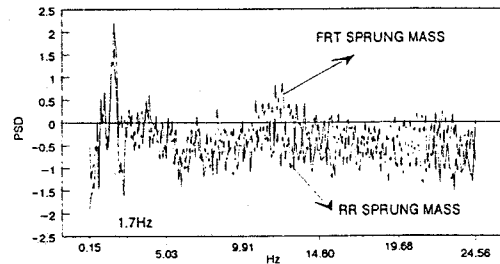


Fig.29 Road A에서 X-car의 진동mode FFT분석

다. 경험적으로 차량 'X'로 Road A에서 100mm의 단차가 있는 공진지역의 주행은 140mm의 단차가 있는 공진없는 지역의 주행과 같은 가속도를 갖는다. Road의 설계에 있어서 I부위 이상의 Slope를 갖지 않도록 하는것이 요구되며 차량에서의 완만한 경사후 급격한 경사변화가 가장 큰 가속도를

준다.(가혹도 순서 : IV > II > I > III) 공진은 차량의 Structure에 더욱심한 Damage를 준다.(Damage정도 : III = III-1(공진))

5. 결 론

이 Report는 가속내구시험용 Road를 설계하는 방법을 제시하였으며, Road Profile을 결정하는 FACTOR의 영향들은 아래와 같다.

- 1) 차량의 Wheel Base 및 차량의 Suspension 고유진동수를 고려해야 한다.
- 2) 차량의 Twist Angle 및 Step Height정도를 우선결정한다.
- 3) PSD량과 Phase Delay는 적절히 선택되어야 한다.
 - Road Profile의 진폭은 PSD에 의해서 좌우된다.
 - PSD와 Twist Angle과는 비례관계에 있으며, Step Height와는 무관하다.
 - Road Surface Profile의 기본형상은 Low

Frequency의 PSD를 조정함에 따라 변화한다.

- Step Height는 Medium Frequency의 PSD를 조절하면서 변화시킨다.
- Phase Delay는 Step Height의 변화와 무관하며 Twist Angle을 현격히 변화시킨다.
- Medium Frequency이상에서의 Phase Delay는 Road Profile에 영향을 미치지 않으므로 low frequency에서의 고려만으로 충분하다.

상기의 factor들을 충분히 고려하여 Test Road Profile은 Field의 현상을 정확히 재현할 수 있도록 설계되어야 한다.

참 고 문 헌

1. 김중희, 현대주행시험장 Belgian Road 설계 보고서, 1983.
2. 정원욱, 노면평가법 비교, 현대자동차 제품개발연구소, 1992.