

自動車 구동시의 實荷重疲勞에 대한 解析的 研究

김귀식*, 조성배**

Analytical Study for Service Loading Fatigue of Automobile Idling

Kim Gui-sik*, Cho Sung-bae**

ABSTRACT

This study was investigated of the generation of random waves, cycle counting methods and evaluation of equivalent amplitudes on service loadings. The service loading waves are examined at four parts of a automobile, i. e., front axle(FA), transmission(TM), universal joint(UJ) and manifold(MF).

The amplitude of the service loading waves are large at FA and TM, and small at UJ and MF, respectively. The wave frequencies of the four parts had band from 0 to 5Hz, especially, they are shown to the most power spectral density at 4Hz. The results of range and rainflow cycle counting method on the waves are about the same at the each part, since these had narrow frequency bands. The equivalent amplitudes of the waves by the rainflow method are alike FA and TM, and UJ and MF, respectively, but those by range method are different all parts. Therefore, the former is more available than the latter according to consideration of fatigue damage and the cycle counting results.

서 론

근년 우주항공, 원자로, 해양구조물 등의 대형 기계구조물의 안정성, 효율성 및 신뢰성을 위하여 파괴역학 수법을 이용한 손상허용 피로설계의 도입이 비약적으로 확대되고 있고 그 중요성

이 크게 인식되고 있다. 이는 기계구조물들의 파괴가 대부분 피로파괴이므로 강도설계의 입장에서 기계구조물 부재의 피로강도를 파악하는 것이 대단히 중요하기 때문이다. 각종 기계구조물들이 운용중에 받는 실사용하중은 다양하지만, 대부분의 경우 하중의 평균치와 진폭이 시시각각 변화

* 기관공학과, ** 기관공학과 대학원

는 랜덤진동하중 특성을 갖기 때문에 랜덤진동하중하의 피로강도해석이 필요하다.

근년 유압서보시험 기술의 보급과 계측제어 기술의 급속한 발전과 더불어 일정진폭하중시험 결과가 정도있게 되고, 블럭랜덤진동하중시험이 가능하게 됨으로써 저자중의 1인은 일정진폭하중시험과 랜덤진동 하중시험결과를 비교검토하여 랜덤진동하중하의 피로현상을 일정진폭하중시험으로부터 추정가능함을 보고한 바 있다.¹⁾ 랜덤진동하중시험과 일정진폭하중시험과의 상관관계를 파괴역학적으로 검토하기 위해서는 랜덤진동하중파형의 하중진폭과 사이클의 정이가 문제로 되는데, 이를 위해 증가하중진폭의 산정법과 파형사이클 계수방법이 필요하다.

협대역 랜덤파형의 경우에는 1사이클의 구분이 비교적 명확하여 증가하중진폭의 산정이 문제로 되는데, 현재로서는 총하중진폭의 2승평균치(RMS), 3승 평균치(RMC), 혹은 일정하중진

폭시험에서의 Paris의 지수를 이용한 평균치(RMM)를 이용하여 증가하중진폭을 산정하고 있다.²⁾ 그러나, 광대역 랜덤파형의 경우에 있어서는 사이클의 구분이 불분명하므로 파형 사이클 계수를 행하여야 하며 계수된 하중진폭에 대하여 증가하중진폭을 산정하는 것이 문제가 된다. 저자들은 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 유사랜덤진동하중파형을 발생시켜 파형계수방법과 증가하중진폭의 산정에 대하여 보고한 바 있다.³⁾

본 연구에서는 실제 기계의 진동하중파형에 대한 전보의 해석방법을 검토할 목적으로 실제 자동차 구동(Idling)시의 랜덤진동하중파형에 대하여 파형계수 방법, 증가하중진폭의 산정등을 검토하였다.

실험장치 및 방법

실사용 랜덤진동하중파형은 Fig.1에서 나타낸 바와같이 자동차 구동시 비교적 큰 하중을 받을

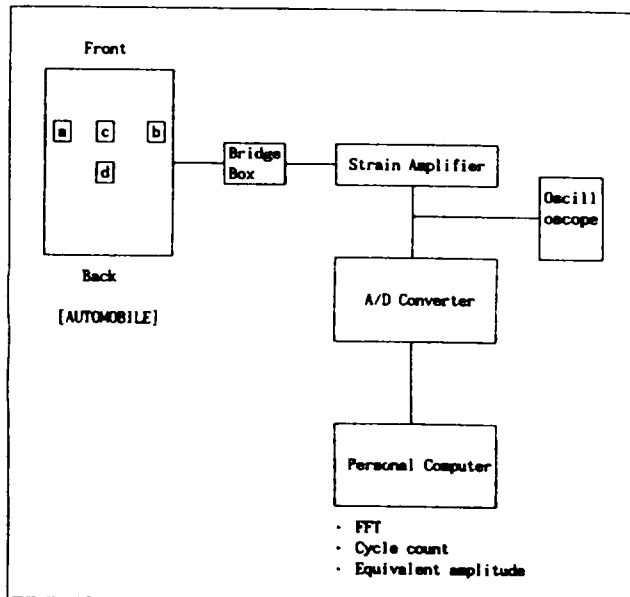


Fig. 1. Experimental apparatus.

것으로 예상되는 자동차 하체부의 4개소 즉, Front axle부(a), Transmission부(b), Universal joint부(c), Manifold부(d)에 스트레인게이지(Strain gage)를 부착하여 정지상태에서 공회전시켰을 때의 자동차 부재에 대한 응력을 검출하였다. 검출된 Analogue signal은 Bridge box(DB-120P)와 Strain amplifier(DPM-612A, Kyowa Elec. Co.)를 통하여 증폭하고 오실로스코프에서 파형의 Random성을 확인한 후 A/D컨버터(PCL-714, Advantech Co.)를 통하여 Digital data로서 퍼스널 컴퓨터에 입력하였다. 입력된 4부분의 Data들은 전보에서 보고한 바와같이⁹⁾ Rainflow법과 Range법에 의한 파형계수와 선형누적손상을 가정할 등가하중 산정법을 적용하여 비교·검토하였고, 고속 푸리에변화(FFT)에 의해 파워스펙트럼을 구하여 응력파형의 주파수 성분을 검토하였다.

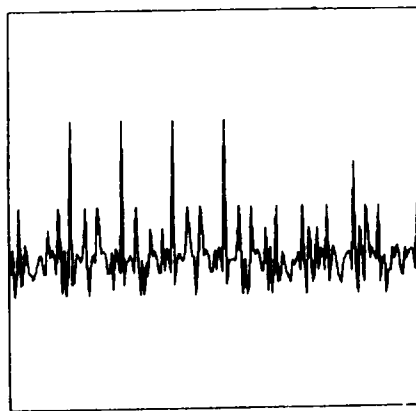
본 실험에 이용한 자동차는 1985년도 (주)대우자동차에서 출고된 4cylinder, 4cycle,

automatic type의 일반승용차로서 배기량은 2,000cc이며 회전수는 공회전으로 약 1,000rpm을 유지하였다.

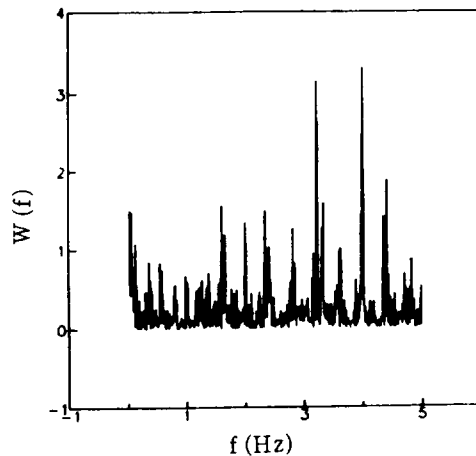
결과 및 고찰

1) 실기 하중파형

Fig.2~Fig.5에는 자동차 구동시의 Front axle(FA)부, Transmission(TM)부, Universal joint(UJ)부 및 Manifold(MF)부의 하중파형과 파워스펙트럼 밀도함수를 나타내었다. 이들 4개소의 파형은 모두 랜덤파형의 특성을 갖고 있다. 4개소의 파형을 비교하여 보면, 파형 진폭의 크기는 FA부가 가장 크고, TM부, MF부, UJ부의 순으로 작다. FA부, TM부, MF부가 인장방향(+방향)의 파형이 형성되어 있으나 UJ부는 압축방향(-방향)의 파형이 주로 형성되고 있어서 FA부, TM부, MF부에는 인장응력이, UJ부에는 주로 압축응력이 작용하였다.

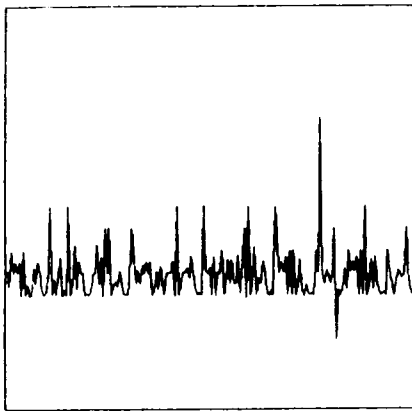


(a) Wave

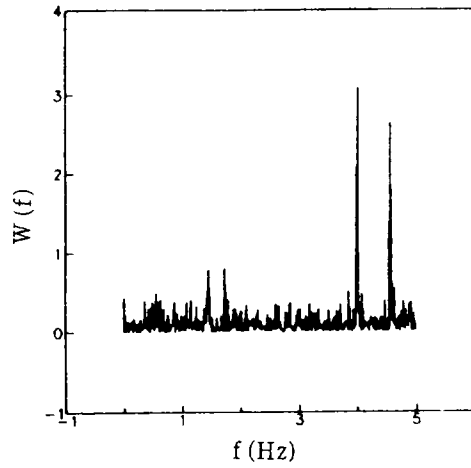


(b) Power spectrum

Fig. 2. Service loading wave and power spectrum at the front axle of automobile.

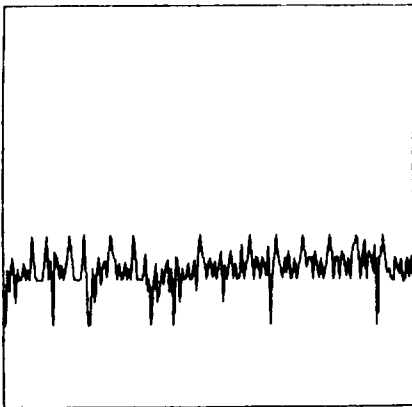


(a) Wave

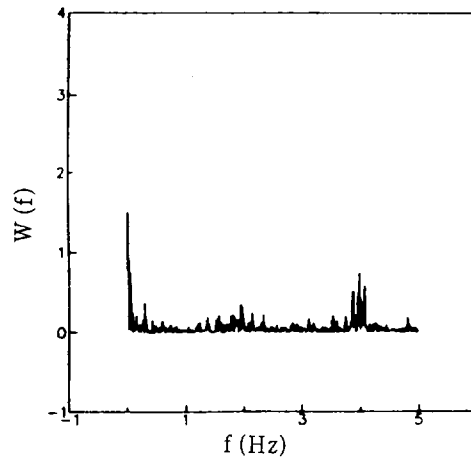


(b) Power spectrum

Fig. 3. Service loading wave and power spectrum at the transmission of automobile.



(a) Wave



(b) Power spectrum

Fig. 4. Service loading wave and power spectrum at the universal joint of automobile.

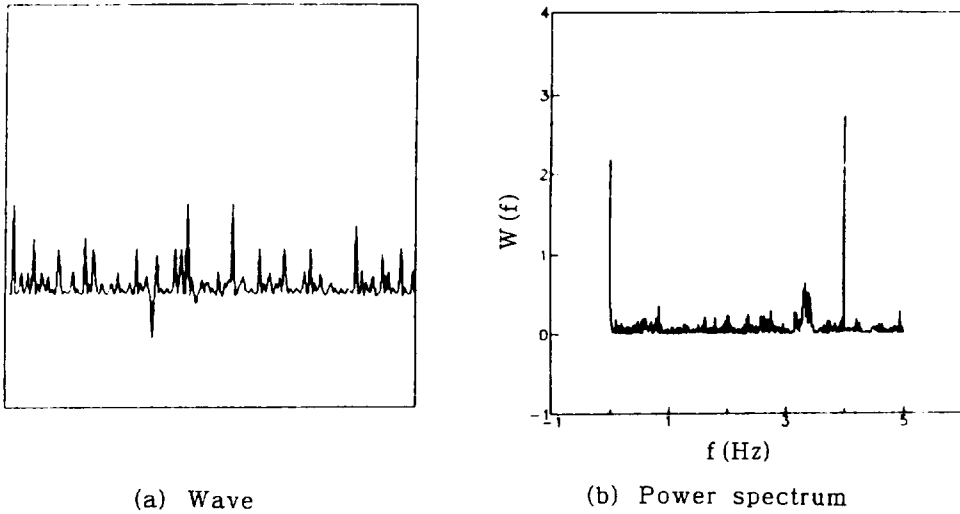


Fig. 5. Service loading wave and power spectrum at the manifold of automobile.

한편, 파워스펙트럼 밀도함수를 비교하여 보면 4개소의 대역폭은 0~5Hz로서 자동차 구동시 (1,000rpm) 하중파형의 주파수 영역은 저주파임을 보인다. 이는 불규칙한 도로면을 주행하는 차량의 파워스펙트럼 해석⁴⁾에서 파워스펙트럼이 강한 주파수 영역이 5Hz이하인 것과 유사하다. Fig.2의 FA부에서는 주파수 영역 전체에 걸쳐 강한 파워스펙트럼을 형성하고 있으며 특히 3.2Hz와 4Hz에서 크게 나타났다. Fig.3의 TM부에서는 4Hz와 4.6Hz에서 파워스펙트럼 밀도가 크고, 그 이외의 부분에서는 작으며 Fig.4의 UJ부는 전 부분의 파워스펙트럼 밀도가 FA, TM부에 비해서 작으며, 그중 4Hz부근에서 비교적 큰 파워스펙트럼을 보인다. Fig.5의 MF부는 4Hz에서 크게 나타나고 다른 부분은 작게 나타난다.

2) 파형계수

자동차 구동시의 하중파형에 대한 하중진폭의 파형계수 결과는 Table 1에서 나타내었고 각 계수방법에 대한 하중진폭 계수결과와 빈도수(%)의 관계를 Fig.6(Rainflow법)과 Fig.7(Range법)에 나타내었다. Fig.6과 7에서 살펴보면 Rainflow법에 의한 파형계수 결과는 FA부와 TM부가 다른 곳에 비해 비교적 큰 하중진폭이 나타나지만 빈도수는 작다. 또 소진폭의 경우는 4개소 전부분이 거의 유사하게 계수되어 자동차를 공회전시켰을 때 진동하중이 4개소에 거의 유사하게 작용하고 있음을 알 수 있다. Fig.7의 Range법에 의한 파형계수 결과는 대진폭의 경우 Fig.6의 Rainflow법과 마찬가지로 FA부, TM부에 거의 유사하게 나타나지만 소진폭의 경우는 측정된 4개소에서 차이를 보인다.

Table 1. Results of cycle count for load amplitude

	Rainflow Method		Range Method	
	Amplitude	Count No.	Amplitude	Count No.
Front axle	0.32	739	0.32	526
	0.96	179	0.96	266
	1.60	67	1.60	105
	2.24	17	2.24	52
	2.88	5	2.88	19
	4.16	3	3.52	7
	4.80	1	4.16	15
	5.44	8	4.80	16
	6.08	4	5.44	9
			6.08	8
Transmission	0.39	852	0.39	708
	1.17	113	1.17	197
	1.95	37	1.95	65
	2.74	7	2.74	24
	3.52	7	3.52	16
	4.30	1	4.30	4
	5.08	2	5.08	9
	5.86	1		
	6.64	3		
Universal joint	0.31	924	0.31	656
	0.94	74	0.94	266
	1.57	20	1.57	73
	2.20	2	2.20	21
	2.83	2	2.83	6
	3.45	1	3.45	1
Manifold	0.39	946	0.39	815
	1.17	64	1.76	120
	1.95	8	1.96	62
	2.74	4	2.74	16
	3.52	1	3.52	9

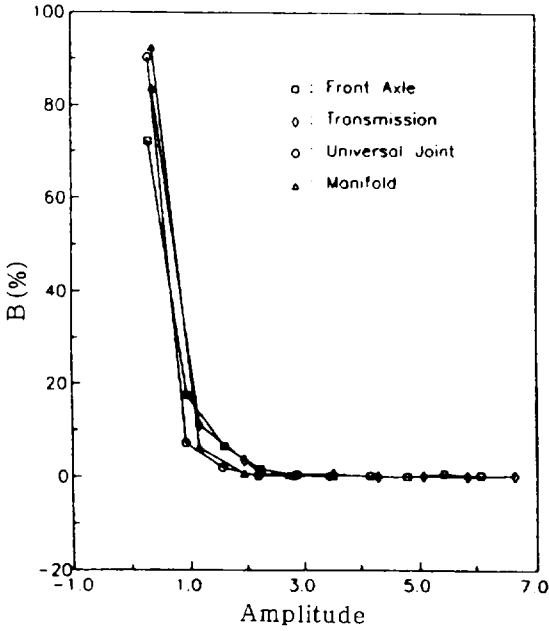


Fig. 6. Rainflow cycle counting results of service loading waves.

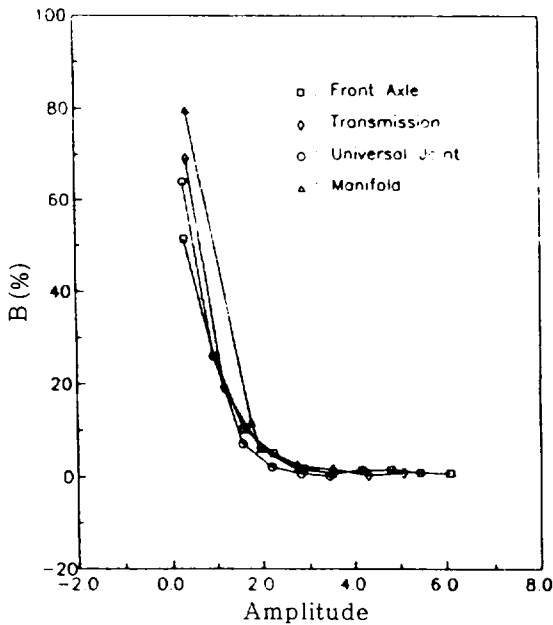


Fig. 7. Range cycle counting results of service loading waves.

한편, 하중과형의 평균치에 대한 과형계수 결과를 Table 2에 나타내었다. Table 2에 있어서 각 부분의 평균하중 변동이 크음을 보여주고 있다. 본 연구에서는 평균하중의 영향은 고려하지 않았다. 이는 재료의 피로파괴에 있어서 평균하중의 영향은 일정하중진폭시험의 경우 유효응력확대계수로서 균열성장속도를 정리하면 무시되므로¹⁰⁾ 랜덤하중시험의 경우의 경우에 있어서도 랜덤진동하중과형의 하중-변형률곡선을 활취하고 균열개구하중을 산정하여 균열개구하중 이상의 과형을 상기의 과형계수법에 의해 계수하고, 유효등가하중진폭을 결정하면 되기 때문이다.¹¹⁾

3) 등가하중

등가하중은 전보³⁾에서 유도된 선형누적손상법칙(Miner's rule)²⁾을 응용한 식(1)에 의하여 구하였다.

$$L_{eq} = \left[\sum_{i=1}^N r_i L_i^m \right]^{1/m} \dots \dots \dots (1)$$

여기에서, L_i : 하중진폭, r_i : 빈도수, m : 지수이며, 실제 자동차 구동시의 등가하중 L_{eq} 와 m 과의 관계는 Rainflow법에 대해서는 Fig.8에, Range법에 대해서는 Fig.9에 나타내었다. Fig.8를 보면 과형계수에서 대진폭의 계수결과가 유사한 FA부와 TM부의 등가하중이 거의 유사하게 나타나고, 소진폭이 많은 UJ부와 MF부가 거의 같다. 또 대진폭이 많은 FA부와 TM부가 UJ부와 MF부보다 등가하중이 크게 나타난다. Fig.9의 Range법에 의한 등가하중의 결과는 4개소 모두 차이를 보이고 있다. 이것은 등가하중 산정에 Rainflow법이 대진폭의 영향이 크게 반영되고, Range법은 대진폭보다는 소진폭의 영향이 크게 반영된 때문이다. 피로파괴의

Table 2. Results of cycle counting for mean load

	Rainflow Method		Range Method	
	Mean load	Count No.	Mean load	Count No.
Front axle	0.24	149	0.29	468
	0.87	387	0.87	267
	1.51	320	1.44	152
	2.14	64	2.02	48
	2.77	55	2.60	21
	3.40	16	3.18	29
	4.67	14	4.33	12
	5.30	8	4.91	15
	5.93	10	5.49	10
Transmission	-0.52	2	0.27	554
	0.03	364	0.82	278
	0.58	364	1.37	104
	1.13	179	1.91	30
	1.68	58	2.46	15
	2.23	36	3.01	29
	2.77	6	4.10	2
	4.42	14	5.74	9
Universal joint	-2.87	8	0.15	375
	-2.32	6	0.46	287
	-1.77	71	0.77	192
	-1.22	101	1.08	84
	-0.67	144	1.39	36
	-0.12	511	1.69	24
	-0.42	141	2.00	7
	-0.97	21	2.31	12
	-1.52	12	2.62	2
	-2.62	8	3.23	3
Manifold	-0.55	6	0.16	515
	-0.002	699	0.48	230
	0.55	205	0.80	95
	1.10	49	1.12	77
	1.65	34	1.43	59
	2.21	20	1.75	14
	2.76	6	2.07	11
	4.96	4	3.02	19

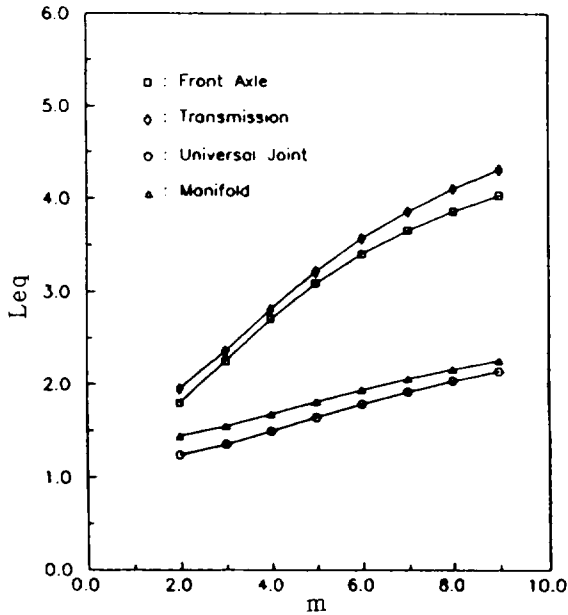


Fig. 8. Relation between L_{eq} and m of service loading waves (Rainflow method).

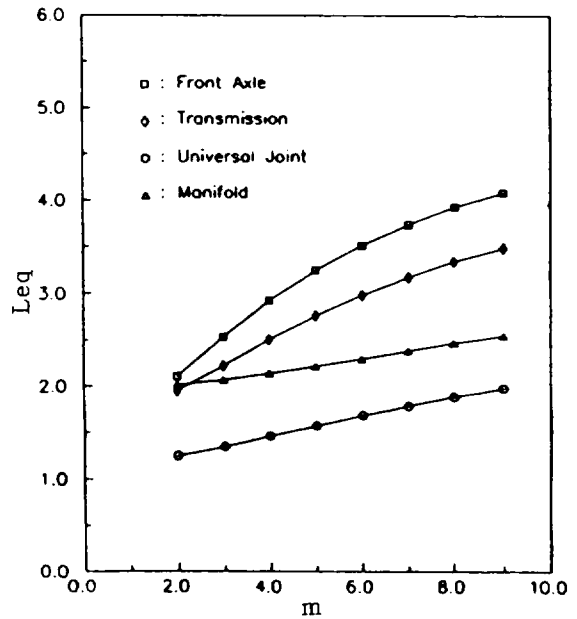


Fig. 9. Relation between L_{eq} and m of service loading waves (Range method).

경우 균열발생 및 균열진전에 미치는 하중진폭의 영향은 소진폭의 하중진폭보다 대진폭의 하중진폭이 크므로, 대진폭의 하중진폭이 주로 반영된 Rainflow법에 의한 등가하중 산정이 유효하다고 생각되지만 이에 대한 정성적인 해석은 차후의 연구과제로 생각된다.

결론

랜덤진동하중파형의 발생 및 해석방법의 검토를 목적으로 실제 자동차 구동시 큰 하중을 받는 Front axle (FA) 부, Transmission (TM) 부, Universal joint (UJ) 부, Manifold (MF) 부에서 검출된 하중파형에 대하여 파형계수의 방법과 등가하중진폭의 산정등을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 자동차 구동시의 4개소의 실하중 파형은

모두 진폭과 평균치가 변동하지만 변동폭의 크기는 FA부, TM부, UJ부, MF부의 순으로 나타난다. 주파수 대역폭의 경우 0~5Hz의 범위에 나타나며 4Hz 부근에서 가장 큰 파워스펙트럼 밀도를 보인다.

2) 실하중 파형의 대역폭은 0~5Hz의 비교적 협대역 파형이므로 하중진폭의 계수방법에 따른 차이는 크지 않으며, 큰 하중진폭의 빈도수는 FA부와 TM부, UJ부와 MF부가 유사하다.

3) 등가하중 L_{eq} 는 Rainflow법에 의하면 FA부와 TM부, UJ부와 MF부가 각각 거의 같고, Range법에서는 4개소 모두 차이를 보인다. 하중진폭의 계수결과와 피로파괴에 미치는 하중진폭의 영향을 고려하면 Rainflow법에 의한 L_{eq} 가 유효하다.

參 考 文 獻

- 1) 駒井謙治郎, 箕島弘二, 金貴植, 1989, 高張力鋼の海洋波浪應力下の腐蝕疲労き裂進展特性, 日本機械學會論文集(A), 55, 515, 1512~1518.
- 2) Cheng, Y. W., 1988, Fatigue Crack Growth analysis under sea-wave loading, Int. J. Fatigue, 10, 2, 101~108.
- 3) 김귀식, 조성배, 1990, Random 진동하중을 받는 구조물용 재료의 피로파괴에 대한 기초적 연구, 제주대학교 산업기술연구소, 제1권, 27~37.
- 4) 張湘偉, 中桐滋, 1989, 不規則路面上を走行する回輪車輛の時刻歴パワースペクトル解析, 日本機械學會論文集(A), 53, 492, 1706~1712.
- 5) 菊川眞, 城野政弘, 三上省二, 1983, 正常變動荷重下の疲労き裂開閉口舉動, 日本材料學會誌, 31, 483~488.
- 6) 町田進, 吉成仁志, 渡邊佐千雄, 森田明保, 石橋文彦, 1988, 實動荷重下の疲労き裂傳播の研究, 日本造船學會論文集, 162, 467~473.