

UH-1H 조종사의 전신진동 노출에 따른 임무별 비행시간 한계에 관한 연구

A Study on the Flight-time Limitation at each Mission in Whole-Body
Vibration Exposure of UH-1 Pilot

송근식* 정완섭** 이달호***
Song, Geun-Shick Cheung, Wan-Sup Lee, Dal-Ho

ABSTRACT

Vibrations exposed to human whole-body are transmitted through the contact area of a human body, such as feet, hip and back directly in contact with vibrating surface. they apparently leads to the decrease of human comfort, the reduction of working efficiency or normal activities, and, furthermore, causes the loss of health and safety.

In this study, UH-1 vibration has been measured to produce the flight-time limitation at each mission

Results of this study show that the most significant peaks appear at a main rotor blade-passage frequency and that the vibration level in ground is higher than that in airborne

In addition, it is shown that the most affective aspect for the flight-time limitation is ground vibration level

1. 서 론

차량, 선박, 항공기와 같은 운송수단에 서는 지면, 파도, 기류와의 접촉으로 인 하여 반드시 진동이 수반된다.

과학기술의 발전으로 인하여 산업구조 가 변화됨에 따라 일상생활에서 사용하는 기계나 산업체에서 사용하는 장치등 은 생산성 향상을 위해 대용량, 고효율, 고속화 되고 있으며, 군에서의 항공기도 기동성 및 체공시간이 증가하는 추세에

있다

따라서 인체는 각종 운송수단에 의해 진동에 노출되는 정도와 시간이 증가하 고 있으며 이로인해 인체에 영향을 주는 문제들이 최근 들어 점차 관심의 대상이 되고 있다.

미국의 NIOSH에서 시외버스, 장거리 화물운송 트럭 및 중장비 운전자들을 대 상으로 실시한 건강에 관한 조사(1976) 에 의하면 3,205명의 장거리 화물운송 트 럭 운전자의 경우 항공관제사에 비해 척 추의 변형, 요통, 치질등이 현저하게 많 이 발견되었으며 전신진동, 작업자세, 식 사습관이 주요원인이라고 지적되었다.

또한, Helicopter 조종사의 경우 요통

* 군사과학대학원 항공우주공학과

** 한국표준과학연구원 음향진동실

*** 공군사관학교 산업공학과

이 빈번하게 보고되고 있는데 이는 진동에 장시간 노출되는 것과 관련이 있다고 보고되었다.

안전비행을 저해하는 요소로는 여러 가지가 있으며, 진동은 그러한 요소들 중 하나로서 조종사의 정상적인 성능발휘에 항상 저해요소로 작용하고 있다.

본 연구에서는 현재 군에서 운용중인 각종 탑승장비중에서 UH-1H 헬리콥터를 대상으로 운용 rpm 및 속도별 진동을 측정, 조종사에게 노출되는 전신진동 수준을 분석함으로써 헬기 임무(운영)형태에 따른 비행시간 한계를 산출하였다.

2. 인체진동의 평가기준

인체에 전달되는 진동을 평가하기 위해서는 기계나 공구에서의 진동과는 달리 인간특성에 맞게 교정이 되어야 한다.

국제표준 규격(ISO 2631), BS규격(BS 6841)에 제시된 바에 의하면 의자와 인체 접촉부 위치 및 방향, 그리고 피폭 진동의 주파수 성분에 따라 인체는 다른 인지정도를 보인다고 규정하고 있다.

즉, 동일한 진동량에 대하여 피폭부위가 다르면 사람의 인지정도는 다르며, 한 접촉부에 대하여 동일한 진동량을 다른 축방향으로 가하면 그 양의 인지정도 또한 다르며, 동일한 진동레벨이라든가 주파수 성분이 다르면 사람의 인지정도는 다르다.

진동성분의 주파수에 따라 인체가 느끼는 정도를 등가화한 것을 주파수 가중함수(Frequency Weighting Function)라 하며 접촉부의 위치 및 축방향에 대한 상대적 인지정도를 수치화한 인자를 축방향보정치(Axis Multiplying Factor)라 한다.

주파수 가중함수는 엉덩이 부위의 상

하방향(Z축), 10Hz, $0.8m/s^2$ rms 주기진동을 기준으로 하여 피폭부위와 진동주파수의 변화에 따른 인체의 등가 인지정도를 상대적으로 환산하는 방법이다.

진동 주파수별 가중화된 신호는 각 측정축의 배가인자를 곱함으로써, 기준진동레벨(엉덩이 부위의 10Hz 상하진동)과 동일한 진동감응을 갖는 양으로 환산하게 된다.

즉, 인체 피폭부의 단순물리량인 진동 신호 $a(i)$ 는 측정부위 및 측정축에 따른 축방향 보정과 주파수 성분별 가중효과를 고려한 신호 $a_w(i)$ 로 변환된다.

전신진동에 대한 평가는 $a_w(i)$ 를 이용하여 실효치(rms)나 피폭진동량(VDV)으로 평가하며, Comfort Level 평가는 12축(Seat 6축, Feet 3축, Back 3축)을 기준으로 하고 있으며 Health & Safety Level 평가는 Seat 3축(X,Y,Z축)으로 평가한다.

ISO 2631과 BS 6841은 1일(24시간) 피폭진동량에 대한 노출한계를 Fig. 1과 같이 규정하고 있다.

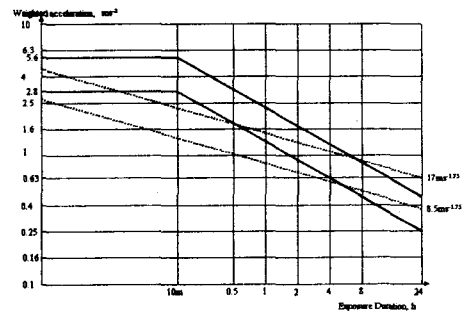


Fig. 1 Health Guidance Caution Zone

Fig. 1에서 실선은 rms에 대한 노출한계를 나타낸 것으로서 두 실선사이의 H-health Guidance Caution Zone이다.

아래실선은 Fatigue-Decreased Proficiency Line으로서 진동으로 인해 피로

를 느끼기 시작하며 작업능률이 저하되기 시작하는 점을 주파수에 따라 증가화한 선이며, 윗 실선은 Exposure Limit로써 안전 및 건강에 위협을 줄 수 있는 한계선을 주파수에 따라 증가화하여 나타낸 것이다.

VDV를 이용하여 이를 도식한 것이 점선으로 표시된 부분이며 두 점선사이 는 Health Guidance Caution Zone이다 그리고 아래점선이 Fatigue-Decreased Proficiency Line, 윗점선이 Exposure Limit 이다.

rms를 이용하여 평가시는 측정구간의 단순 물리량 값을 가지고 평가하며, 피폭진동량인 VDV를 이용하여 평가시는 시간에 따라 누적되는 진동량을 가지고 평가한다. 즉, 이착륙의 경우를 예로 들면 이착륙시 측정된 1분 운용 진동량이 $a_w(i)$ 라고 하면 이착륙을 T시간 동안 운용시의 진동량은 식(1)과 같이 산출할수 있다.

$$VDV_T = a_w(i) * T^{1/4} \dots\dots\dots (1)$$

where, VDV_T : T 시간동안의 피폭진동량
 $a_w(i)$: 1분 VDV

비행을 구성하는 요소별 산출된 진동량은 전체비행의 진동량을 산출하는데 적용되어 진다. 즉, 다양한 요소로 구성된 A type 비행임무의 총 진동량은 rms 및 VDV를 사용하느냐에 따라 식(2),(3)과 같이 요소별 진동량 조합에 의해 구할 수가 있다.

A type 비행임무의 rms

$$= \left[\frac{\sum a_{wi}^2 \cdot T_i}{\sum T_i} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

where a_{wi} : the vibration magnitude for exposure duration T_i

A type 비행임무의 VDV

$$= [\sum VDV_i^4]^{1/4} \dots\dots\dots (3)$$

상기 과정을 거쳐 산출된 결과(rms or VDV)는 인체에 미치는 안락도(Comfort)의 정도를 파악할수 있으며 정상적인 활동성을 침해하기 시작하는 시간 그리고 안전 및 건강에 영향을 미치는 한계시간까지 산출할수 있다.

비행을 구성하는 요소 및 전체 rms Value에 대한 FL(Fatigue-Decreased Proficiency Line) 및 EL(Exposure Limit)을 산출하는 과정은 식(4), (5)와 같다.

$$FL = [(2.8 * 10^{1/2}) / Trms]^2 \dots\dots\dots (4)$$

where, Trms : T시간 동안의 rms

$$EL = [(5.6 * 10^{1/2}) / Trms]^2 \dots\dots\dots (5)$$

피폭진동량(VDV)으로 비행구성 요소 및 전체 비행의 FL 및 EL에 도달하는 시간은 식(6), (7)과 같이 산출한다.

$$FL = T * [8.5 / VDV]^4 \dots\dots\dots (6)$$

where, T : 운용시간

VDV : 측정된 피폭진동량

$$EL = T * [17 / VDV]^4 \dots\dots\dots (7)$$

이상에서와 같이 조종사에게 노출되는 전신진동은 평가방법에 따라 FL 및 EL에 도달하는 시간이 다르게 나타난다.

항공기 사고는 자동차나 다른 수송수단의 사고와는 달리 사고 유발시에는 그 파급효과에 있어 인적, 물적으로 큰 손실을 초래할수 있다. 따라서 본 연구에서는 항공기를 운영함에 있어 비행계획 수립 및 운영의 한계선을 두가지 상이한 평가방법중 먼저 도달하는 시간으로 적용하였다.

3. 실험장치 및 방법

피실험 항공기는 현재 부대에서 가동 중인 항공기를 선정하였으며, 운용 속도

및 rpm별 측정구간에 대해서는 풍향, 풍속, 기류등 외부 인자들에 의해 영향이 적은 구간을 선정하여 신호를 분석하기 위해서 각각 1분30초씩 3회 측정하였다.

실험에 사용한 장비는 한국 표준과학 연구원에서 개발, 운용중인 Pad형 12축 진동측정 장비를 사용하였으며, 진동 측정부위는 Fig. 2와 같이 발부위의 피폭 진동 측정을 위한 3축 Servo 가속도 센서가 설치된 Feet Pad, 엉덩이 부위의 피폭진동량을 측정하기 위한 3축 Servo 가속도 센서와 Roll, Pitch, Yaw 성분의 가속도를 측정하기 위한 가속도 센서가 각각 설치된 Hip Pad, 그리고 등 접촉부의 피폭진동 측정용 초소형 반도체 Bridge형 3축 가속도계가 설치된 Back Pad로 구성되어 있다.

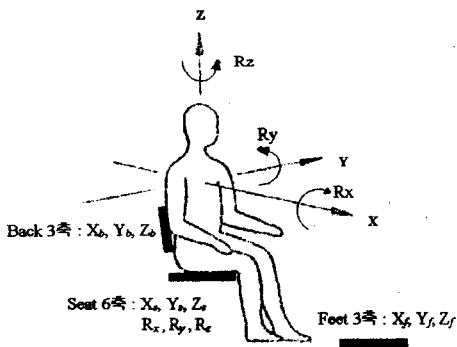


Fig. 2 Measured axis and location

진동측정 장비는 좌측에 설치하였으며, 피실험자는 진동측정시 조종에 입하지 않고 동일한 자세를 유지함으로써 피실험자 움직임에 의한 측정값 차이(Sensor 움직임 유발)를 배제시켰다.

진동신호는 Data Recorder(SONY PC 216A)에 저장하였으며, 신호분석은 MATLAB을 사용하였다.

4. 실험결과 및 고찰

진동측정 구간별 분석은 전신진동 노출에 따라 인간에게 영향을 미치는 저주파 구간(150 Hz 이하)만 분석하였는데, 진동측정 구간별 진동량 순위 및 주파수 구성은 동일하게 나타났으며 진동수준은 공중에서 보다 지상에서 더 크게 나타났다.

진동측정 구간별 UH-1H 조종사에게 노출되는 진동량은 Table 1과 같다.

상기 실험결과를 토대로 비행임무별 세부 비행형태를 구분, 비행형태별 산출된 값을 조합하여 비행시간 한계를 산출하였다.

비행임무중 항법비행의 경우, 과목구성은 Table 2와 같이 총비행 시간은 2시간이며 모기지에서 이륙하여 목표지점에 착륙하는 임무로 구성하였다. 비행고도는 4000ft로 정하였으며, 0~90kts 상승시간 100초(1.67분), 90kts, 500FPM으로 순항 고도까지 도달시간은 7분30초이며, 목표지역에 착륙하기 위한 시간적용은 동일한 방법으로 하였다.

항법비행시의 전체 진동량은 rms는 0.73, VDV는 11.02이며 FL에 도달하는 시간은 146.16분, EL에 도달하는 시간은 588.64분이다.

만약 인원이나 화물의 수송에 따른 시간지연이나 탑승시간 소요로 인하여 지상에서 대기해야 하는 경우 전체 진동량은 Table 3과 같이 항공기 대기상태에 따라 값이 달라진다.

Idle 상태로 5분간 대기하는 경우 FL에 도달하는 시간은 23.53분, EL에 도달하는 시간은 376.55분, 10분간 대기하는 경우 FL에 도달하는 시간은 16.27분, EL에 도달하는 시간은 260.37분이며, 15분간 대기시 FL에 도달하는 시간은 12.44분,

Table 1 Vibration level at each part

비행형태	rms m/s ²		VDV m/s ^{1.75}	
	값	EL(분)	값(분)	EL(분)
시동~Idle	0.3673	2324.5	1.4111	12768.3
Idle	1.99	79.2	6.99	35.0
rpm 5000	1.6876	110.1	5.6004	84.9
rpm 5500	1.331	177.0	4.7203	168.2
rpm 6000	1.4861	142.0	5.003	133.3
rpm 6600	1.4388	151.5	4.775	167.0
hovering	0.4324	1677.3	1.4815	17337.6
hover taxi	1.199	218.1	4.173	275.4
상승	1.203	216.7	4.106	293.8
강하	1.3121	182.2	4.623	182.9
10kts수평	1.233	206.3	4.259	253.8
20kts수평	1.218	211.4	4.2166	264.2
30kts 수평	1.144	239.6	3.852	379.4
40kts 수평	1.135	243.4	3.827	389.4
50kts 수평	1.128	246.5	3.802	399.7
50kts 상승	1.038	291.1	3.726	433.3
50kts 강하	1.193	220.3	4.038	314.1
60kts 수평	1.103	257.8	3.753	421.0
60kts 상승	1.0284	296.5	3.6854	452.7
60kts 강하	1.27	194.4	4.4	222.8
70kts 수평	1.023	299.7	3.605	494.5
70kts 상승	0.5693	967.6	1.799	7973.9
70kts 강하	1.259	197.8	4.327	238.3
80kts 수평	0.7945	496.8	2.641	1716.8
80kts 상승	0.5414	1069.9	1.7581	8742.2
80kts 강하	1.151	236.7	3.905	359.2
90kts 수평	0.6054	855.6	1.8653	6899.2
90kts 상승	0.5342	1098.9	1.722	9498.7
90kts 강하	1.15	237.1	3.901	360.7
장주비행	1.221	210.4	4.254	255.0
산정(A)	1.299	185.8	4.5109	201.7
산정(B)	1.306	183.9	4.532	198.0
Idle~종료	1.8112	95.6	5.8995	69.0

EL에 도달하는 시간은 198.98분 이다. 반면, 지상 rpm 5500으로 대기하는 경우에는 이보다 적은 진동값을 가지므로 FL 및 EL에 도달하는 시간이 늦게 나타났다.

Table 2 Detailed subject of route flight

구분	과목구성	시간(분)	rms	VDV
수행과목	시동 ~ Idle	1	0.3673	1.4111
	Idle	4	1.99	6.99
	지상rpm 5500	-	1.311	4.7203
	지상rpm 6600	2	1.4388	4.775
	hover taxi	2	1.199	4.173
	hovering	1	0.4324	1.4815
	상승(0~90kts)	1.67	1.203	4.106
	90kts 상승	7.5	0.5342	1.722
	수평	90.67	0.6054	1.8653
	90kts 강하	7.5	1.15	3.901
	강하(90~0kts)	1.67	1.3121	4.623
	Idle ~ 종료	1	1.8112	5.8995
	계	120	0.73	11.02
	비행시간 한계	FL 도달시간		147.16
EL 도달시간			588.64	679.58

Table 3 Flight time limitation by ground time

상태	대기시간	method	값	FL	EL
Idle	5분	rms	0.83	114.82	459.29
		VDV	12.77	23.53	376.55
	10분	rms	0.91	94.05	376.20
		VDV	14.01	16.27	260.37
	15분	rms	0.99	79.64	318.57
		VDV	14.98	12.44	198.98
rpm 5500	5분	rms	0.77	132.66	530.66
		VDV	11.47	36.25	580.02
	10분	rms	0.85	120.63	482.52
		VDV	11.87	31.61	505.72
	15분	rms	0.84	110.60	442.39
		VDV	12.23	28.02	448.29

지상 rpm 5500으로 5분간 대기하는 경우 FL에 도달하는 시간은 132.36분, EL에 도달하는 시간은 530.66분, 10분간 대기시 FL에 도달하는 시간은 120.63분, EL에 도달하는 시간은 482.52분 이며, 15분간 대기시 FL에 도달하는 시간은 110.60분, EL에 도달하는 시간은 442.39분 이다.

Idle 대기상태가 길어질수록 EL에 도달하는 시간은 단축이 되며, 15분 이상 Idle 상태로 대기시 전체 비행시간은 19 8.98분을 초과해서는 안된다.

항법비행의 경우 UH-1H 항공기의 임무특성상 장시간의 비행시간이 소요되는 경우가 있으므로, 조종사는 지상대기가 필요시 임무수행상 가능한 한 Idle 상태로의 지상대기를 피하여 rpm 5500으로 대기해야만 한다.

5. 결론

본 논문에서는 UH-1H 헬기의 운용 rpm 및 속도별 조종사에게 전달되는 전신진동량 및 진동특성에 대하여 살펴 보았으며 형태에 따른 비행시간 한계를 산출하였다.

실무 비행부대에서 적용시, 비행편조가 구성되고 세부 비행계획이 수립되면 비행단위별 설정된 진동량을 기준으로 조종사는 해당 비행임무에 대한 비행시간 한계를 산출하여 시간을 준수함으로써 비행안전에 기여할수 있으며, 비행부대 지휘관이나 임무 조종사의 해당 비행임무에 대한 GO-NO GO 결정에 고려해야 할 요소로 작용하리라 기대한다.

참 고 문 헌

- 1)김광희외 3인, "최신 소음진동학", 동화출판, 1998.
- 2)박경수, "인간공학", 영지문화사, 1994.
- 3)정완섭, "인체 피폭 진동의 감수 특성 평가", 한국표준과학연구소 1차년도 연구보고서.
- 4)정완섭외 3인, "동시 3축 가진에 의한 자동차의자류의 승차감 평가", 한국소음

진동 공학회지 제7권 1호.

- 5)ISO 2631-1, "Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration", 1997.
- 6)Kenneth R. Boff, Janet E.Lincoln, "User's Guide-Engineering Data Compendium Human Perception and Performance Volume IV", 1988.
- 7)M. J. Griffin, "Handbook of Human Vibration", 1990.