

자동차 조립라인에서 이중-햄머형(Double-hammer type) 임팩트 렌치와 오일-펄스형(Oil-pulse type)임팩트 렌치 에어공구의 국소진동가속도 및 소음수준

동아대학교 의과대학 산업의학연구소

정재열 · 김정만

— Abstract —

Hand-Arm Vibration and Noise Levels of Double-Hammer Type and Oil-Pulse Type Impact Wrenches in Automobile Assembly Lines

Jae-Yeal Jeung, Jung-Man Kim

Institute of Industrial Medicine, College of Medicine, Dong-A University

This study was conducted to introduce fundamental data of hand-arm vibration and noise exposure levels with impact wrenches(double-hammer impact wrenches and oil-pulse impact wrenches) used in automobile assembly lines considering the process variables and tool variables. In studying, products per day, required time screwing the bolts or nuts per bolts or nut were considered as process variables, and capacity of bolts or nuts, air consumptions per minute, tool weights, RPM were considered as tool variables. Hand-arm vibration levels of 3 axis in each hand were measured using the instruments complying with ISO/DIS 5349 and noise levels were measured using a noise logging dosimeter. The results were as follows :

1. Required time to screwing the bolt or nut by oil-pulse impact wrenches is shorter than double-hammer impact wrenches but total daily exposure time of oil-pulse impact wrenches was higher than double-hammer impact wrenches because the number of bolts or nuts per cycle was many.

2. Oil-pulse impact wrenches have been used to screwing the large bolt or nut in comparing with double-hammer impact wrenches and required time to screwing the bolts or nuts were shorter than double-hammer impact wrenches because oil-pulse impact wrenches were using high RPM and large air consumption per minute. Noise level of oil-pulse impact wrenches was 8 dB(A) lower than double-hammer impact wrenches.

3. Dominant hand-arm vibration levels of double-hammer impact wrenches in each hand were 8.24 m/sec² of Zh axis in right hand and 9.60 m/sec² of Xh axis in left hand. Dominant hand-arm vibration level of oil-pulse impact wrenches in each hand was 2.59 m/sec² of Xh axis in right hand and 3.23

m/sec² of Yh axis in left hand.

4. In double-hammer impact wrenches, corresponding hand-arm vibration levels of Xh, Yh, Zh axis in left hand were higher than hand-arm vibration levels of right hand in 3 axis. In oil-pulse impact wrenches, Xh axis of right, Yh axis of left, Zh axis of left were higher than the corresponding hand-arm vibration levels of Xh, Yh, Zh axis in right and left hand.

5. Correlation coefficients among Xh, Yh, Zh axis of right and left hand hand-arm vibration levels in double-hammer impact wrenches and oil-pulse impact wrenches were commonly high in Yh axis and correlation coefficients of Yh axis in double-hammer impact wrenches and oil-pulse impact wrenches were 0.76 and 0.86, respectively.

6. As a measure repetitiveness, plotting total daily exposure time with the number of bolts or nut per cycle, direct correlation was shown between repetitiveness and hand-arm vibration exposure, and correlation coefficient between the number of bolts or nut per cycle and total daily exposure time in double-hammer impact wrenches, oil-pulse impact wrenches were 0.84 and 0.50, respectively.

7. Considering the total acceleration level and tool variables in double-hammer impact wrenches and oil-pulse impact wrenches, air consumption in right hand, and bolt or nut capacity in left hand were commonly the variable that explainability was high. Considering the noise and tool variables in double-hammer impact wrenches and oil-pulse impact wrenches, air consumption per minute was commonly the variable that explainability was high.

Key Words : Impact Wrench, Hand-arm Vibration, Process Variable, Tool Variable, Repetitiveness, Total Acceleration

1. 서 론

산업의 기계화와 더불어 산업장에서 진동공구의 사용은 생산활동에 소요되는 인간의 육체적 힘을 상당히 줄이게 되는 동시에 급격한 생산활동의 증가를 가져왔다. 손으로 사용하는 진동공구의 역사는 비교적 짧은 편으로 기록상 기압식 햄머는 1839년 프랑스 광산에서 최초로 사용되었고, 미국에서는 1890년부터 광산에서 사용되기 시작하였다. 그러나 이러한 진동공구의 사용으로 생산적인 측면에서는 획기적인 발전을 가져왔으나 예기치 않았던 작업자의 건강장해의 문제가 대두되기 시작하였으며, 이에 대한 보고는 1911년 이탈리아의 Loriga(1911)가 햄머공에서, 1918년 미국의 Hamilton(1918)이 인디애나주의 석공에서 발생사례를 발표하였다. 여기서 보고된 증상들은 손끝이 하얗게 된 후 파래지는 현상, 추위에 예민하게 반응하여 손끝의 감각이 무뎠거나 없어지고 통증을 동반하는 것들이었다. 그전에는 진동공구와 관계없이 수지의 말초혈관의 경련성 수축을 발견하고 보고한 것은 프랑스 의사 Raynaud(1862)로, 당시 주로 젊은 부인의 양손에 대칭적으로 발생하는 혈액순환장애를 묘사하였다. 따라서 진

동공구를 사용하는 작업자에서 위와 같은 증상이 나타난 것이 보고된 것은 그리 오래된 일이 아니다.

그동안 사용되어진 병명도 이차성 레이노드증후군(secondary Raynaud's syndrome), 외상성 레이노드증후군(trumatic Raynaud's syndrome), 창백지 질환(white finger disease), 사지(dead finger) 또는 진동유발성 창백지(Vibration-induced White Finger: VWF) 등 다양하고 통일되지 않았었다. 1983년 영국 런던 국제회의에서 국소진동에 의한 건강장해에 대해 토의를 하고 병명을 통일하여 "국소진동증후군(Hand-Arm Vibration Syndrome: HAVS)"이라고 정의하고 "진동공구를 주로 사용하는 작업자에게서 발생하는 혈관성·감각·신경성 및 근골격계 장애를 총칭하는 복합적 상태"를 말한다고 정의하였다.

국소진동의 기준은 1960년대 말기의 연구결과에서 불쾌와 내성수준에 근거하여 설정되기 시작하였다. 국소진동증후군의 혈관과 신경학적 요소는 독립적으로 발현되고, 최근의 역학적 연구는 다른 공구의 관점에서 ISO/DIS 5349(1986)의 용량-반응 기준에서의 Raynaud's phenomenon의 지수에 있어 과소평가와 과대평가를 제시하고 있다(Pelmea,

1989).

본 연구의 목적은 우리나라 산업발전 특히 자동차 생산량 증가에 따라 자동차의 대부분의 조립라인에서 많이 이용되고 있는 에어공구 중 이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치를 대상으로 국소진동가속도 및 소음 수준 그리고 이에 영향을 주는 요인에 대한 공학적 연구를 하여 앞으로 국소진동가속도 및 소음수준에 대한 폭로자료 및 공학적 자료에 대한 기초자료를 제공하고자 시도하였다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상(Subjects)

연구대상은 자동차 조립라인(B/C 라인, TRIM 라인, 샷시 라인, 파이널 라인, 변속기 라인 등)에서 임팩트 렌치를 이용하는 작업자로 이중-햄머형(double-hammer type) 임팩트 렌치를 이용하는 작업자 34명, 오일-펄스형(oil-pulse type) 임팩트 렌치를 이용하는 작업자 31명을 대상으로 하였다. 연구의 대상이된 임팩트 렌치는 일반적인 형태의 이중-햄머형과 이중-햄머형의 소음, 국소진동 등의 문제를 공학적으로 개선시킨 오일-펄스형의 2 가지이다. 연구대상이된 임팩트 렌치는 1915년 이래 에어공구 분야에서 앞선 기술로 전세계의 유수의 자동차 조립라인에서 가장 많이 이용되고 있는 일본의 U 회사 제품이다.

2. 연구 방법(Methods)

국소진동가속도수준의 측정에는 Modular Precision Sound Level Meter(Type 2231, Bruel and Kjar), Human-vibration Units(Type 2522, Bruel and Kjar), Human-vibration Module(BZ 7105, Bruel and Kjar), Hand-Arm Transducer Set(Type 4392, Bruel and Kjar), 3 개의 Piezoelectric Accelerometer(Type 4374, Bruel and Kjar)을 이용하였다. 측정에 이용된 방법은 국소진동측정에 대한 국제적 기준인 ISO/DIS 5349(1986)에서 규정하고 있는 방법을 이용하였다. 국소진동의 측정은 작업자가 해당 에어공구를 이용해 작업을 하기 이전에 Hand Adapter(UA 0891, Bruel and Kjar)을 2, 3번째 또는 3, 4번

제 손가락 사이에 끼워넣고 작업을 할 때 Xh, Yh, Zh의 3 축의 국소진동 가속도수준을 동시에 측정하였으며, 측정에 있어서는 ISO/DIS 5349에서 제안하는 주파수 범위를 대상으로 보정한(weighting) 측정을 수행하였다. Modular Precision Sound Level Meter와 Human-vibration Unit의 민감도(sensitivity)의 점검과 보정에는 교정가진기(Calibration Exciter Type 4294, Bruel and Kjar)을 이용하였으며, 159.2 Hz에서 10 m/sec²의 실효치 표준진동수준을 이용하여 수행하였다.

또한 임팩트 렌치를 이용하는 각 작업자에 대해서 소음폭로수준을 측정하였으며, 소음측정시 이용한 측정장비(Noise Logging Dosimeter M-27, Quest)의 측정조건은 A 보정, 50-146 dB 범위, 상한 115dB, 시간상수 느림(slow), 기준 90dB, 전환비율 5dB로 설정하였다. 측정장비는 하루에 1회씩 소음보정기(sound level calibrator CA-12B, Quest)을 이용하여 1000Hz에서 110dB으로 보정하였다.

Radwin(1990)이 이용했었던 방법을 참고로 하여, 공정변수로 연구되었던 하루당 제품생산량, 단일공정에서 작업에 소요되는 시간, 볼트 또는 너트를 1개 죄는데 소요되는 시간, 하루당 전체폭로시간, 단일공정에서 이용되는 볼트 또는 너트의 갯수는 본 연구에서 선정된 자동차 조립라인에서 평균 생산량, 공정에서 스톱워치를 이용한 시간측정 및 볼트 또는 너트 갯수를 헤아리는 등의 조사를 통해 얻을 수 있었다.

공구변수로 연구되었던 볼트 또는 너트의 용량, 분당공기소요량, 공구의 무게, RPM 등의 자료는 제조회사인 "U" 회사에서 제공한 기술자료집에 기재되어 있는 내용을 참고로 하였고, 공구별 사양은 아래의 표1과 같다.

III. 성 적

1. 하루당 제품생산량, 단일공정에서 작업에 소요되는 시간, 볼트 또는 너트를 1 개 죄는데 소요되는 시간, 하루당 전체폭로시간, 단일공정에서 이용되는 볼트 또는 너트의 갯수
하루당 제품생산량, 단일공정에서 작업에 소요되는 시간, 볼트 또는 너트를 1 개 죄는데 소요되는

Table 1. Specifications of Air Tool Model by Impact Wrench

Groups	Model	Capacity ¹⁾	RPM ²⁾	Weight ³⁾	AC ⁴⁾
DHIW ⁵⁾	UW-13CSK	13	6500	5.17	0.75
DHIW	UW-161ER	8	7300	1.51	0.35
DHIW	UW-220PL	19	5500	4.77	0.70
DHIW	UW-6CSHK	8	7500	1.71	0.35
DHIW	UW-6SLK	6	8500	0.97	0.30
DHIW	UW-ST6SHK	8	6500	1.70	0.40
OPIW ⁶⁾	UX-1000	11	6800	2.08	0.50
OPIW	UX-1300S	13	6200	2.70	0.55
OPIW	UX-1400	14	5250	3.20	0.60
OPIW	UX-612S	17	9300	1.00	0.30
OPIW	UX-800	9	9000	1.70	0.85
OPIW	UXR-T1920	17	4400	4.50	0.70

- 1) Capacity: nominal bolt or nut size, mm
- 2) RPM: revolution per minute
- 3) Weight: air tool weight(less socket), Kg
- 4) AC: average air consumption per minute, m³/minute
- 5) DHIW: double-hammer impact wrenches
- 6) OPIW: oil-pulse impact wrenches

시간, 하루당 전체폭로시간, 단일공정에서 이용되는 볼트 또는 너트의 갯수는 표 2와 같다. 하루당 제품 생산량은 이중-햄머형 임팩트 렌치가 평균 120.24 개로 오일-펄스형 임팩트 렌치의 113.24 개 보다 많았고, 단일공정에서 작업에 소요되는 시간은 이중-햄머형 임팩트 렌치가 평균 14.12 초로 오일-펄스형 임팩트 렌치의 18.84 초 보다 짧게 소요되었고 ($p<0.05$), 볼트 또는 너트를 1 개 죄는데 소요되는 시간은 오일-펄스형 임팩트 렌치가 2.19 초로 이중-햄머형 임팩트 렌치의 2.47 초 보다 짧게 소요되었으며, 하루당 전체폭로시간은 이중-햄머형 임팩트 렌치가 29.85 분으로 오일-펄스형 임팩트 렌치의 34.06 분 보다 적게 소요되었다. 또한 단일공정에서 이용되는 볼트 또는 너트의 갯수는 오일-펄스형 임팩트 렌치가 8.65 개로 이중-햄머형 임팩트 렌치의 6.06 개보다 많았다($p<0.05$).

2. 볼트 또는 너트의 용량, 분당회전수, 공구의 무게, 분당에어소모량

볼트 또는 너트의 용량, 분당회전수, 공구의 무게, 분당에어소모량은 표 3과 같다. 볼트 또는 너트의 용량은 오일-펄스형 임팩트 렌치가 12.06mm로 이중-햄머형 임팩트 렌치의 10.12mm보다 컸고

($p<0.05$), 분당회전수(RPM)은 오일-펄스형 임팩트 렌치가 6708.06으로 이중-햄머형 임팩트 렌치의 44.69.71보다 높았고($p<0.05$), 공구의 무게는 오일-펄스형 임팩트 렌치가 2.56kg으로 이중-햄머형 임팩트 렌치의 .31kg보다 무거웠으며, 또한 분당 에어소모량은 오일-펄스형 임팩트 렌치가 0.51m³으로 이중-햄머형 임팩트 렌치의 0.46m³보다 많았고, 작업시 발생하는 소음수준은 이중-햄머형 임팩트 렌치가 95.95○B(A)으로 오일-펄스형 임팩트 렌치의 87.52dB(A)보다 높았다($p<0.05$).

3. 이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치의 오른손과 왼손의 국소진동 가속도 수준 비교 및 각각의 임팩트 렌치에서 오른손과 왼손의 국소진동가속도수준 비교

이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치의 오른손과 왼손의 국소진동가속도수준 비교 및 각각의 임팩트 렌치에서 오른손과 왼손의 국소진동가속도수준은 표 4 및 표 5와 같다. 이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치의 오른손의 Xh, Yh, Zh 3 축의 국소진동가속도수준을 비교해 보면 Xh축의 경우는 이중-햄머형 임팩트 렌치가 6.43m/sec²으로 오일-펄스형 임팩트 렌치의 2.59

Table 2. Process Variables by Impact Wrench Type

Groups	No.	PD ⁷⁾ mean ± SD	RTC ⁸⁾ * mean ± SD	URT ⁹⁾ mean ± SD	TDET ¹⁰⁾ mean ± SD	NOC ¹¹⁾ * mean ± SD
DHIW	34	120.24 ± 42.04	14.12 ± 9.85	2.47 ± 0.79	29.85 ± 27.75	6.06 ± 4.33
OPIW	31	113.24 ± 42.66	18.84 ± 6.21	2.19 ± 0.33	34.06 ± 16.89	8.65 ± 2.98
Total	65	116.89 ± 42.13	16.36 ± 8.58	2.33 ± 0.62	31.86 ± 23.13	7.29 ± 3.93

*: p<0.05

7) PD : products per day, No./day

8) RTC : required time per cycle, sec

9) URT : unit required time, sec

10) TDET : total daily exposure time, minute

11) NOC : bolt or nut No. per cycle

Table 3. Air Tool Variables and Noise Levels by Impact Wrench Type

Groups	No.	Capacity* mean ± SD	RPM* mean ± SD	Weight mean ± SD	AC mean ± SD	Noise* mean ± SD
DHIW	34	10.12 ± 3.97	4469.71 ± 3072.65	2.31 ± 1.34	0.46 ± 0.15	95.95 ± 4.56
OPIW	31	12.06 ± 3.43	6708.06 ± 1795.97	2.56 ± 1.17	0.51 ± 0.14	87.52 ± 2.87
Total	65	11.04 ± 3.81	5537.23 ± 2765.77	2.43 ± 1.25	0.48 ± 0.14	91.93 ± 5.70

*: p<0.05

m/sec²보다 높았고(p<0.05), Yh축의 경우도 이중-햄머형 임팩트 렌치가 6.98m/sec²으로 오일-펄스형 임팩트 렌치의 2.16m/sec²보다 높았다(p<0.05). Zh 축의 경우도 역시 이중-햄머형 임팩트 렌치가 8.24m/sec²으로 오일-펄스형 임팩트 렌치의 2.83m/sec²보다 높았으며(p<0.05), 전체 가속도수준 역시 이중-햄머형 임팩트 렌치가 12.96m/sec²으로 오일-펄스형 임팩트 렌치의 4.71m/sec²보다 높았다(p<0.05). 이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치의 왼손의 Xh, Yh, Zh의 국소진동가속도수준을 비교해보면 Xh 축의 경우는 이중-햄머형 임팩트 렌치가 9.60m/sec²으로 오일-펄스형 임팩트 렌치의 2.39m/sec²보다 높았고(p<0.05), Yh축 경우도 이중-햄머형 임팩트 렌치가 8.15m/sec²으로 오일-펄스형 임팩트 렌치의 3.23m/sec²보다 높았고(p<0.05), Zh 축의 경우도 역시 이중-햄머형 임팩트 렌치가 8.54m/sec²으로 오일-펄스형 임팩트 렌치의 2.92m/sec²보다 높았으며(p<0.05), 전체 가속도수준 역시 이중-햄머형 임팩트 렌치가 15.78m/sec²으로 오일-펄스형 임팩트 렌치의 5.15m/sec²보다 높았다(p<0.05).

이중-햄머형 임팩트 렌치에서의 오른손과 왼손의 Xh, Yh, Zh축의 국소진동가속도 수준을 분산분석(One-way ANOVA)을 실시한 결과 오른손에서는 Xh, Yh, Zh 3축 중에서 Zh 축이 8.24m/sec²로 Xh 축의 6.43m/sec²이나 Yh 축의 6.98m/sec²보다 높았고, 왼손에서는 3축중에서 Xh축이 9.60m/sec²으로 Yh축의 8.15m/sec²나 Zh축의 8.54m/sec²보다 높았다.

오일-펄스형 임팩트 렌치에서의 오른손과 왼손의 Xh, Yh, Zh 축의 국소진동가속도수준을 분산분석(One-way ANOVA)을 실시한 결과 오른손에서는 3축 중에서 Zh 축이 2.83m/sec²로 Xh축의 2.59m/sec²이나 Yh 축의 2.16m/sec²보다 높았고, 왼손에서는 3축 중에서 Yh 축이 3.23m/sec²으로 Xh 축의 2.39m/sec²나 Zh 축의 2.92m/sec²보다 높았다.

4. 이중-햄머형 임팩트 렌치 및 오일-펄스형 임팩트 렌치에서 오른손과 왼손의 각 축에 대한 국소진동가속도수준 비교

이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트

랜치의 오른손과 왼손의 해당되는 각 축에 대한 국소진동가속도수준은 표 6과 같다. 이중-햄머형 임팩트 랜치의 오른손과 왼손의 국소진동가속도수준에 대한 paired t-test을 실시한 결과 Xh 축에서는 왼손의 국소진동가속도수준이 9.60m/sec²으로 오른손의 6.43m/sec²보다 높았고(p<0.05), Yh 축에서도 왼손의 국소진동가속도수준이 8.15m/sec²으로 오른손의 6.98m/sec²보다 높았으며(p<0.05), Zh축에서도 역시 왼손의 국소진동가속도수준이 8.54m/sec²으로 오른손의 8.24m/sec²보다 높았다. 전체가속도수준은 왼손이 15.78m/sec²으로 오른손의 12.96m/sec²보다 높았다(p<0.05). 오일-펠스형 임팩트 랜치의 경우는 오른손과 왼손의 국소진동가속도수준에 대한 paired t-test을 실시한 결과 Xh 축에서는 오른손의 국소진동가속도수준이 2.59m/sec²으로 왼

손의 2.38m/sec²보다 높았고, Yh축에서도 왼손의 국소진동가속도수준이 3.23m/sec²으로 오른손의 2.16m/sec²보다 높았으며(p<0.05), Zh축에서는 왼손의 국소진동가속도수준이 2.92m/sec²으로 오른손의 2.83m/sec²보다 높았다. 전체가속도수준은 왼손이 5.15m/sec²으로 오른손의 4.71m/sec²보다 높았다.

5. 이중-햄머형 임팩트와 오일-펠스형

임팩트 랜치에서 오른손과 왼손의 해당 Xh, Yh, Zh 축 및 전체가속도수준에 대한 각각의 상관관계

이중-햄머형 임팩트와 오일-펠스형 임팩트 랜치에서 오른손과 왼손의 해당 Xh, Yh, Zh축 및 전체가속도수준에 대한 각각의 상관관계는 표 7과 같다.

Table 4. Hand-arm Vibration Levels of Right Hand by Impact Wrench Type

Groups	No.	Hands	Xh*	Yh*	Zh*	TA ¹²⁾ *
			mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD
DHIW	34	Right	6.43 ± 5.29	6.98 ± 5.67	8.24 ± 7.54	12.96 ± 10.33
OPIW	31	Right	2.59 ± 0.88	2.16 ± 1.36	2.83 ± 1.20	4.71 ± 1.12
Total	65	Right	4.59 ± 4.30	4.67 ± 4.82	5.65 ± 6.11	9.02 ± 8.53

*: p<0.05

12) TA: total acceleration, m/sec²

Table 5. Hand-arm Vibration Levels of Left Hand by Impact Wrench Type

Groups	No.	Hands	Xh*	Yh*	Zh*	TA*
			mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD
DHIW	34	Left	9.60 ± 6.92	8.15 ± 4.19	8.54 ± 4.85	15.78 ± 8.41
OPIW	31	Left	2.39 ± 1.67	3.23 ± 1.98	2.92 ± 0.96	5.15 ± 2.38
Total	65	Left	6.16 ± 6.26	5.80 ± 4.12	5.85 ± 4.52	10.71 ± 8.23

*: p<0.05

Table 6. Hand-arm Vibration Levels of Right and Left Hand by Impact Wrench Type

Groups	Hands	No.	Xh	Yh	Zh	TA
			mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD
DHIW	Right	34	6.43 ± 5.29*	6.98 ± 5.67*	8.24 ± 7.54	12.96 ± 10.33*
DHIW	Left	34	9.60 ± 6.92*	8.15 ± 4.19*	8.54 ± 4.85	15.78 ± 8.41*
OPIW	Right	31	2.59 ± 0.88	2.16 ± 1.36*	2.83 ± 1.20	4.71 ± 1.12*
OPIW	Left	31	2.39 ± 1.67	3.23 ± 1.98*	2.92 ± 0.96	5.15 ± 2.38*

*: p<0.05

Table 7. Correlation of Corresponding Axis and Total Acceleration Levels in Right Hand and Left Hand by Impact Wrench Type

Groups	L\R ¹³⁾	Xh	Yh	Zh	TA
DHIW	Xh	0.40*	-	-	-
	Yh	-	0.76*	-	-
	Zh	-	-	0.55*	-
	TA	-	-	-	0.58*
OPIW	L/R	Xh	Yh	Zh	TA
	Xh	0.38*	-	-	-
	Yh	-	0.86*	-	-
	Zh	-	-	0.05	-
	TA	-	-	-	0.91*

*: p<0.05

13) L/R: left hand/ right hand

이중-햄머형 임팩트와 오일-펄스형 임팩트 렌치에서 오른손과 왼손의 해당 Xh, Yh, Zh축 및 전체가속도수준에 대한 각각의 상관계수는 이중-햄머형 임팩트 렌치에서는 Xh축이 0.40, Yh축이 0.76, Zh축이 0.55, 전체가속도수준이 0.58으로 3축중에서 Yh축의 상관계수가 가장 높았으며, 오일-펄스형 임

Table 8. Correlation between Bolt or Nut No./Cycles and Total Daily Exposure Times

Groups	RD ¹⁴⁾	TEDT
DHIW	NOC	0.84*
OPIW	NOC	0.50*

*: p<0.05

14) I/D : independent variable/dependent variable

팩트 렌치에서는 Xh축이 0.38, Yh축이 0.86, Zh축이 0.05, 전체가속도수준이 0.91으로 3축중에서 Yh축이 상관계수가 가장 높았다.

6. 단일공정에 이용되는 볼트 또는 너트의 갯수와 하루당 전체폭로시간에 대한 상관관계

단일공정에 이용되는 볼트 또는 너트의 갯수와 하루당 전체폭로시간에 대한 상관관계는 표 8과 같고 이중-햄머형 임팩트 렌치에서의 상관관계를 그래프로 표시하면 그림 1과 같다. 단일공정에 이용되는 볼트 또는 너트의 갯수와 하루당 전체폭로시간에 대한 상관관계에 대한 분석결과, 이중-햄머형 임팩트 렌치에서는 0.84이었고 오일-펄스형 임팩트 렌치에서는 0.50으로 이중-햄머형 임팩트 렌치에서 더 높

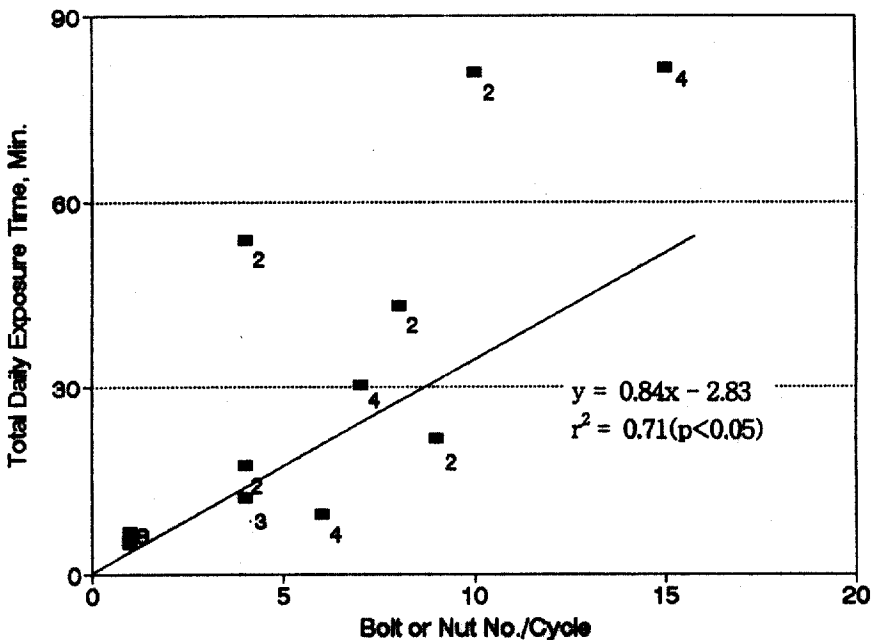


Fig. 1. Plotting of Total Daily Exposure Time versus Bolt or Nut No./Cycle in Double-Hammer Impact Wrenches

은 상관관계를 볼 수 있었다.

7. 이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형

임팩트 렌치 각각에서 오른손과 왼손의 전체가속도수준에 대한 용량, 분당회전수, 공구의 무게, 분당공기소요량에 대한 다중회귀분석

이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치에서 오른손과 왼손의 전체가속도수준에 대한 용량, 분당회전수, 공구의 무게, 분당공기소요량에 대한 다중회귀분석(multiple regression)한 결과, 이중-햄머형 임팩트 렌치의 오른손의 전체가속도수준에 대한 공구변수에 대한 상관계수는 0.46으로 상관관계가 있었으며, 이들 변수중 공구의 무게와 분당공기소요량이 설명력이 높은 변수이었고 왼손의 전체가속도수준에 대한 공구변수에 대한 상관계수는 0.71 ($p < 0.05$)으로 상관관계가 있었으며, 이들 변수중 용량과 분당공기소요량이 설명력이 높은 변수이었다. 또한 오일-펄스형 임팩트 렌치에서 오른손의 전체가속도수준에 대한 공구변수에 대한 상관계수는 0.60 ($p < 0.05$)으로 상관관계가 있었으며, 이들 변수중 분당공기소요량과 RPM이 설명력이 높은 변수이었고 왼손의 전체가속도수준에 대한 공구변수에 대한 상관계수는 0.50으로 상관관계가 있었으며, 이들 변수중 용량과 공구의 무게가 설명력이 높은 변수이었다.

8. 이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형

임팩트 렌치 각각에서 소음에 대한 용량, 분당회전수, 공구의 무게, 분당공기소요량에 대한 다중회귀분석

이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치에서 소음에 대한 용량, 분당회전수, 공구의 무게, 분당공기소요량에 대한 다중회귀분석결과, 소음에 대한 공구변수의 상관계수는 0.45으로 상관관계가 있었으며, 이들 변수중 분당공기소요량과 공구의 무게가 설명력이 높은 변수이었고 또한 오일-펄스형 임팩트 렌치의 경우는 소음에 대한 공구변수의 상관계수는 0.91 ($p < 0.05$)으로 상관관계가 있었으며, 이들 변수중 분당공기소요량과 RPM이 설명력이 높은 변수이었다.

IV. 고 찰

국소진동에 대한 진동수준과 인체 장해사이의 용량-반응관계에 대한 연구는 1918년 Alice Hamilton 이래 현재까지 계속되고 있다. 1960년 말기에 일본과 체코슬로바키아의 연구자들은 국소 시스템의 진동반응에 대해 폭로-시간-종속인 "elbow"-형태의 일련의 곡선을 제시했으며(Louda, 1970; Axelsson, 1968), 그들은 고주파 진동의 보정을 점진적으로 강조 또는 감소시키면서 낮은 진동 주파수에 강조 또는 중요성을 두는 인체의 주관적 반응자료에 근거를 두었다. 과거 수십년에 걸쳐서 국소진동에 대해 역학적 연구가 주로 이루어졌으나 최근에는 보정곡선을 이용하는 기준은 진동에 폭로되는 작업자에 대해 근본적으로 보호적이지 못한 것으로 여겨지고 있다. 특별히, 진동 주파수가 높고 부수적으로 가속도 수준이 높은 공구가 작업장에서 이용되는 경우에 이러한 사실이 더욱더 명백하게되었고(Wasserman, 1989), ISO/DIS 5349, BSI, ANSI, AC-GIH 허용기준치에 관한 반론이 제시되고 있는 실정이다(Wasserman, 1985). 따라서 용량-영향에 대한 자료를 반론없이 이용할 수 있는 시기가 올 때 까지, 비보정 측정을 하여야 한다고 일부의 연구자 및 NIOSH-HAV 기준자료에서는 강조하고 있다(Wasserman, 1989). 이와같은 상반된 의견이 제시되고 있으나 아직까지는 보정측정이 현장에서 국소진동측정시 더 많이 이루어지고 있는 형편이다.

Raynaud 증상, 한랭, 그리고 진동 수공구 사용의 연관성은 1900년대 초기에, 특히 Indiana의 Bedford와 Bloomington에서 어란상 석회암 벨트(oolitic limestone belt)을 끼우고 작업하는 공기공구 압식 조각사와 절단사에서 명백하게 밝혀졌다(Hamilton, 1918). 1946년에 Dart(1946)는 항공 산업에 종사하고 있는 112명의 작업자에서 진동 수공구로 인한 건강장해를 보고하였고, 1960년에 Pecola은 직업적 Raynauds 현상은 소멸되어가고 있다고 발표를 하였으나, 후에 자신과 동료가 광범위한 연구를 실시한 결과 자신의 처음 발표를 부정하기도 하였다. 최근의 자료들에서는 수공구의 물리적 크기 그리고 작업자가 수공구를 어떻게 쥐는가 하는 것이 중요한것으로 밝혀지고 있으며, 크기가 작은

진동공구는 공구 크기에 비해 손잡이를 더 크게하는 경향이 있기 때문에 국소진동증후군 및 수근관증후군을 발생시킨다는 주장도 있다.

1960년대와 1970년대 영국에서, 산림공정에서 작업을 하는 작업자에서 국소진동증후군의 유병율이 계속 증가하였고(90%까지) 또한 가솔린으로 작동되는 체인톱의 이용도 증가했다. 1972년에 이러한 진동공구를 사용하는 작업자의 건강장해를 예방하기 위하여 전세계의 대부분의 톱톱 제조업자는 엔진균형을 높이는 공구제작방법의 개선 뿐만이 아니라(Wasserman, 1987), 톱톱의 손잡이와 엔진에서 진동격리와 댄핑의 공학적 제어기법을 통하여 공구로부터 발생하는 진동수준을 톱톱에서의 진동방출을 감소시키기위해 노력한 결과 이 같은 방진설계로 손잡이 진동방출수준이 인자 10으로 감소시켜서 체인톱 사용자에서 국소진동증후군의 유병율을 크게 감소시켰다(Wasserman and Taylor, 1977). 이와는 대조적으로, 대부분의 공기 수공구에 대한 진동수준을 감소시키기 위한 노력은 상대적으로 적었다. 동일한 공구 및 공구사용 작업자 사이에서 가속도측정치 사이에 상당한 변이성이 발견되기도 하였다(Letz, 1992).

손으로 전달되는 진동누적폭로는 3가지 직교 방향에서 전체 스펙트럼분포, 손과 공구사이의 기계적인 커플링, 쥐는힘, 방향, 작업환경과 공구온도, 방진장갑의 이용여부, 그리고 공구의 조건과 유지관리(Radwin, 1990), 공구의 물리적 특성에 의존하고 우세한 주파수 뿐만이아니라 조화(harmonics)에 따라 변화한다는 것이 보고되고 있다(Futatsuka, 1985; Starck, 1984). 실제적으로 다수의 진동공구는 넓은 범위에서 복합적인 주파수 분포를 가진다. 공구의 무게, 형태 그리고 유지관리, 보조기구의 이용 및 작업자세는 국소진동폭로 및 그에 의한 증상과 관련이 있다(Musson, 1989). 따라서 손으로 전달되는 진동의 위험평가는 진동증상의 원인론에서 개인적인 중요성이 명확하게 알려져 있지 않다 하더라도, 이러한 모든 요인을 고려하여야 한다(Taylor and Brammer, 1982). 그리고 반복적인 작업은 반복진동폭로에 의한 누적폭로량을 증가시켜, 진동폭로에 영향을 줄 수 있으며, 본 연구에서는 반복성(repetitiveness)의 척도로서, 공정 1 주기 동안에 작업하는 볼트 또는 너트의 숫자에 대한

전체하루폭로시간을 표시하여 반복성과 진동폭로사이에 직접적인 연관관계를 볼 수 있었으며, 반복성이 높은 스트레스에 폭로된 작업자는 진동폭로가 역시 더 높을 수 있다고 NIOSH(1989)의 국소진동증후군 자료는 제시하고 있다. 본 연구에서는 공정 1 주기 동안에 볼트 또는 너트의 갯수와 전체하루폭로시간에 대한 상관계수는 이중-햄머형 임팩트 렌치에서 0.84, 오일-펄스형 임팩트 렌치에서 0.50이었으며, NIOSH에서 보고했었던 결과와 일치하였다. 연구결과에서 볼수 있듯이 오일-펄스형 임팩트 렌치에 비해 상관계수가 높았던 이중-햄머형 임팩트 렌치에서의 국소진동가속도수준이 오일-펄스형 임팩트 렌치의 오른손과 왼손의 Xh, Yh, Zh 3축 모두에서 더 높게 나타났다.

진동은 동력수-공구작동의 결과로 발생하고 이러한 공정에 이용된 공구의 특성에 따라 그 발생양상이 달라진다. 발생되었던 진동수준은 공구의 크기와 무게, 추진방법(method of propulsion)을 포함한 공구의 본질적 특성 그리고 공구운전 매카니즘에 따라 달라지게 된다. 연속진동은 양복과 회전동력공구에서 고유한 특성이다. 충격진동은 임팩트 렌치 또는 치핑기와 같은 충동과 충격작용에 의해서 작동되는 공구에서 발생한다. 공기동력, 전기, 또는 유압과 같은, 공구의 동력공급원은 진동에 또한 영향을 준다(NIOSH, 1989). 일부공구는 진동을 감소시키기 위해 특별하게 디자인되고 있다.

임팩트 진동공구는 다양한 직종에서 광범위하게 이용되고 있고 용도가 다양한 임팩트 공구는 리벳팅, 치핑 그리고 페인트 제거와 같은 공정에서 이용되고 있다. 이러한 공구의 이용자는 진동과 충격에 폭로되고 있다. 본질적으로 진동은 작업물체에 전달되었던 일련의 빠른 충격이고 대부분 형태의 공구에서 손잡이를 통해서 조작자의 손에 전달된다(Musson, 1989).

임팩트 공구와 관련되어있는 진동가속도수준은 임팩트 공구가 아닌 공구의 진동수준보다 높다. 공구의 무게는 손으로 전달되는 진동가속도진폭에 또한 영향을 주며 무거운 공구손잡이를 이용하면 진동수준이 낮아지나 공구를 이용하는데 필요한 쥐는힘(grip force)이 증가되어 국소진동증후군의 측면에서 보면 국소진동증후군의 발생을 증가시킬 수 있다(NIOSH, 1989).

자동차조립에서 수공구 조작자는 국소진동을 포함하여 다수의 인간공학적이고 물리적인 스트레스에 종종 직면한다. 크기가 큰 치평공구와 그라인더는 높은 진동수준을 발생시키는 한편(NIOSH, 1982), 생산과 조립에 전형적으로 이용되었던 작은 휴대용 공기공구가 또한 높은 진동수준을 발생시킬 수 있다는 사실은 덜 인식하고있다(Radwin, 1985). 3가지 성분에 대한 주파수-보정 가속도의 합계를 이용했을 때 그들은 실험실 사이에 훨씬 더 작아진 변이를 관찰했다(Holt, 1982).

미국에서 임팩트 렌치와 햄머를 이용함으로써 국소진동에 폭로되는 작업자의 숫자는 대략 43만명으로 추정되고 있으며 그 중 자동차·트럭 제조에서 국소진동에 폭로되는 작업자는 25만명으로 추정하고 있다(Pelmeur, Taylor and Wasserman, 1992). 우리나라의 경우 95년에 접어들어 자동차 생산량이 세계 상위권으로 성장하게 되었으며 1995년 현재 자동차 및 트레일러 분야의 사업체수가 1837개로 증가하는 작업자의 숫자는 약 18만명 정도로 추산되고 있어 이들 작업자에 대한 국소진동중후군을 예방하기 위해 국소진동에 대한 작업환경측정의 방법 및 허용기준치의 설정이 필요한 시점이라 생각한다.

본 연구에서 조사되었던 공구의 특성을 살펴보면, Oil-Pulse 형태의 임팩트 렌치는 금속과 금속의 접촉이 없고, 쾌적한 작업환경을 위해 에어모터(air motor)에 Super Engineering Plastic으로 된 "OIL-FREE" 로타 블레이드(Rotor Blades)를 이용한 것으로 비교적 소음과 진동의 발생수준이 낮은 편이다. Hammer 형태는 균형이 잘 이루어진 햄머 메카니즘과 작업자에게 토크(torque) 작용을 감소시켜 높은 생산성을 올릴 수 있고 빠른 조립을 할 수 있어 모터 자동차, 장비, 기계류 등과 같이 일반적으로 대규모 조립라인에 권고되고 있다.

소련, 체코슬로바키아, 일본, 스웨덴, 영국, 프랑스, 미국 등의 국가가 국소진동에 대한 허용기준치를 설정해 놓고 있으며 국제적으로 통용되는 것은 International Organization for Standardization의 ISO 5349이다(Griffin, 1990).

본 연구에서 나타난 성적은 오일-펄스형 임팩트가 볼트 또는 너트 1개를 죄는데 소요되는 시간이 2.19초로 햄머형 임팩트의 2.47초 보다 짧게 소요되었으나 볼트 또는 너트를 1공정주기 동안에 죄는 갯수가

많아 하루당 전체폭로시간이 높은 것으로 생각된다. 오일-펄스형 임팩트 렌치는 이중-햄머형 임팩트 렌치보다 볼트 또는 너트의 용량이 클때 이용되는 경향이 있었고 RPM이나, 분당에어소요량이 많아 임팩트의 볼트 또는 너트를 이중-햄머형 임팩트 렌치가 1개 죄는데 필요한 시간이 짧게 소요되는 것으로 생각된다. 오일-펄스형 임팩트 렌치의 경우 이중-햄머형 임팩트 렌치보다 무게가 무겁기 때문에 국소진동가속도수준의 측정치 자체는 낮으나 이 무게로 인해 작업자에게 국소진동중후군을 발생시킬 위험성은 이중-햄머형 임팩트 렌치보다 낮다고 할 수는 없다. 공구 무게는 이중-햄머식 임팩트 렌치가 2.31kg, 오일-펄스형 임팩트 렌치가 2.56kg으로 Radwin(1992)이 보고했었던 임팩트 렌치의 무게 1.8kg보다 더 무거운 것으로 나타났고, 분당회전수(RPM)는 이중-햄머식 임팩트 렌치가 4469, 오일-펄스형 임팩트 렌치가 6708으로 Radwin(1992)이 보고했었던 8000보다 낮았다. 하루전체폭로시간은 이중-햄머식 임팩트 렌치가 29.85분, 오일-펄스형 임팩트 렌치가 34.06분으로 Radwin(1992)이 보고했었던 핸드그립오비탈샌드(거칠기 80)의 62.9분, 무거운 오른쪽앵글라인드(그라인드 디스크)의 49.7분, 무거운 오른쪽앵글라인드(거칠기 80)의 42.1분보다 짧았다(NIOSH, 1989). 공구의 실제 이용에 대한 전체하루시간은 대부분의 산업현장에서 하루에 4시간을 초과하지 않는다. 공구별 국소진동가속도수준에 있어서 이중-햄머식 임팩트 렌치의 오른손(손잡이)의 Xh가 6.43m/sec², Yh가 6.98m/sec², Zh가 8.24m/sec², 전체가속도가 12.96m/sec² 그리고 왼손(몸체)의 Xh가 9.60m/sec², Yh가 8.15m/sec², Zh가 8.54m/sec², 전체가속도가 15.78m/sec²이었고, 오일-펄스형 임팩트 렌치의 오른손(손잡이)의 Xh가 2.59m/sec², Yh가 2.16m/sec², Zh가 2.83m/sec², 전체가속도가 4.71m/sec² 그리고 왼손(몸체)의 Xh가 2.39m/sec², Yh가 3.23m/sec², Zh가 2.92m/sec², 전체가속도가 5.15m/sec²이었고, 임팩트 렌치의 국소진동가속도수준을 보고한 Radwin의 연구결과는 오른손(손잡이)의 Xh가 17.9m/sec², Yh가 10.5m/sec², Zh가 12.2 m/sec², 전체가속도가 24.0m/sec² 그리고 왼손(몸체)의 Xh가 29.3m/sec², Yh가 20.5m/sec², Zh가 35.3m/sec², 전체가속도가 50.3m/sec²이었는데 이러한 결

과는 연구에서 고려되었던 이중-햄머형과 오일-펄스형 임팩트 렌치보다 3축의 가속도 및 전체가속도에 있어 오른손과 왼손 모두 높은 결과를 보였으며, Radwin(1992)의 결과와 일치하는 측면이 발견되었는데 그것은 Radwin(1992)과 본 연구의 임팩트 렌치가 모두 피스틀형이었고 오른손보다 왼손의 3축의 국소진동가속도수준 및 전체 가속도가 항상 높다는 것이었다. 오일-펄스형 임팩트 렌치의 소음수준이 이중-햄머형 임팩트 렌치의 소음수준보다 약 8dB(A) 정도 낮았는데 이는 "U" 회사의 공학적인 개선 노력에 효과가 있었던 것으로 생각되며 국소진동 가속도 수준이 낮게 개선되면 소음도 낮은 수준으로 개선될 수 있다는 것을 뒷받침해 주는 결과라고 하겠다.

오른손에 대해 이중-햄머형 임팩트 렌치에서는 Zh축이 8.24m/sec^2 , 오일-펄스형 임팩트 렌치에서는 Xh축이 2.59m/sec^2 로 가장 높은 국소진동가속도수준은 나타났다. 왼손에서는 이중-햄머형 임팩트 렌치의 Xh축이 9.60m/sec^2 , 오일-펄스형 임팩트 렌치에서는 Yh축이 3.23m/sec^2 로 가장 높은 국소진동가속도수준을 나타냈다.

이중-햄머형 임팩트 렌치에서는 Xh, Yh, Zh 3축에서 오른손보다 왼손에서 공히 국소진동가속도수준이 높았으며, 오일-펄스형 임팩트 렌치에서는 Xh축에서는 오른손이 Yh축에서는 왼손이 Zh축에서는 왼손이 높은 국소진동가속도수준을 나타냈다.

이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치에서 공히 3축중 Y축의 왼손과 오른손의 국소진동가속도수준의 상관관계는 각각의 상관계수가 0.76, 0.86으로 가장 관련성이 높은 것으로 제시되었다.

폭로변수와 공구변수간에 다중회귀분석을 실시한 결과 이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치에서 전체가속도수준과 공구변수의 관계를 볼때, 오른손에서는 분당에어소요량, 왼손에서는 볼트 또는 너트의 용량이 공통적으로 설명력이 높은 변수이었다. 이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치에서 소음에 대한 공구변수의 관계를 볼때, 분당공기소요량이 공통적으로 설명력이 높은 변수이었다.

본 연구의 목적은 우리나라 산업발전 특히 자동차 생산량 증가에 따라 자동차의 대부분의 조립라인에서 많이 이용되고 있는 에어공구 중 이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치를 대상으로 국소진동가속도 및 소음 수준 그리고 이에 영향을 주는 요인에 대한 공학적 연구를 하여 앞으로 국소진동가속도 및 소음수준에 대한 폭로 및 공학적 자료에 대한 기초자료를 제공하고자 자동차 조립라인(B/C 라인, TRIM 라인, 샷시 라인, 파이날 라인, 변속기 라인 등)에서 임팩트 렌치를 이용하는 작업자로 이중-햄머형(double-hammer type) 임팩트 렌치를 이용하는 작업자 34명, 오일-펄스형(oil-pulse type) 임팩트 렌치를 이용하는 작업자 31명을 대상으로 하여 작업시 오른손과 왼손에서 국소진동가속도 및 소음수준을 측정하였다. 또한 공정변수로 하루당 제품생산량, 단일공정에서 작업에 소요되는 시간, 볼트 또는 너트를 1 개 죄는데 소요되는 시간, 하루당 전체폭로시간, 단일공정에서 이용되는 볼트 또는 너트의 갯수 그리고 공구변수로 볼트 또는 너트의 용량, 분당공기소요량, 공구의 무게, RPM을 고려하였다. 연구결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 오일-펄스형 임팩트가 볼트 또는 너트 1개를 죄는데 소요되는 시간이 2.19초로 햄머형 임팩트의 2.47초 보다 짧게 소요되었으나 볼트 또는 너트를 1 공정주기 동안에 죄는 갯수가 많아 하루당 전체폭로 시간이 높은 것으로 생각된다.

2. 오일-펄스형 임팩트 렌치는 이중-햄머형 임팩트 렌치보다 볼트 또는 너트의 용량이 클때 이용되는 경향이 있었고 RPM이나, 분당에어소요량이 많아 임팩트의 볼트 또는 너트를 이중-햄머형 임팩트 렌치로 1개를 죄는데 필요한 시간이 짧게 소요되는 것으로 생각된다. 오일-펄스형 임팩트 렌치의 소음수준이 이중-햄머형 임팩트 렌치의 소음수준보다 약 8dB(A) 정도 낮았다.

3. 오른손에 대해 이중-햄머형 임팩트 렌치에서는 Zh축이 8.24m/sec^2 , 오일-펄스형 임팩트 렌치에서는 Xh축이 2.59m/sec^2 로 가장 높은 국소진동가속도수준은 나타났다. 왼손에서는 이중-햄머형 임팩트 렌치의 Xh축이 9.60m/sec^2 , 오일-펄스형 임팩트

트 렌치에서는 Yh축이 3.23m/sec²으로 가장 높은 국소진동가속도수준을 나타냈다.

4. 이중-햄머형 임팩트 렌치에서는 Xh, Yh, Zh 3축에서 오른손보다 왼손에서 공히 국소진동가속도 수준이 높았으며, 오일-펄스형 임팩트 렌치에서는 Xh축에서는 오른손이 Yh축에서는 왼손이 Zh 축에서는 왼손이 높은 국소진동가속도수준을 나타냈다.

5. 이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치에서 공히 3축 중 Y축의 왼손과 오른손의 국소진동가속도수준의 상관계수가 각각 0.76, 0.86으로 가장 관련성이 높은 것으로 제시되었다.

6. 반복성(repetitiveness)의 척도로써, 공정 1주기 동안에 볼트 또는 너트의 숫자에 대한 전체하루폭로시간을 표시하여 반복성과 진동폭로사이에 직접적인 상관관계를 볼 수 있었는데 공정 1주기 동안에 볼트 또는 너트의 갯수와 전체하루폭로시간에 대한 상관계수는 이중-햄머형 임팩트 렌치에서 0.84, 오일-펄스형 임팩트 렌치에서 0.50이었다.

7. 이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치에서 전체가속도수준과 공구변수의 관계를 볼때, 오른손에서는 분당에어소요량, 왼손에서는 볼트 또는 너트의 용량이 공통적으로 설명력이 높은 변수이었다. 이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치에서 소음에 대한 공구변수의 관계를 볼때, 분당공기소요량이 공통적으로 설명력이 높은 변수이었다.

참 고 문 헌

Loriga G : *Pneumatic tools: Occupational and health. Ball Inspet Lorbora. 1918:2:35-37(adapted from Wasserman and Taylor, 1991).*

Hamilton A : *A study of spsstic anemic in the hands of stonecutters: An effects of the air hammer on the hands of stonecutter. In: Industrial accidents and hygienic series(Bulletin 236 No. 19). Washington, D.C. : United States Bureau of Labor Statistics; 1918(adapted from Wasseerman and Taylor, 1991)*

Pelmeal PL, Leong D, Taylor W, Naglingam M, Fung D : *Measurement of vibration of hand-held tools: weighted or unweighted ? J. Occup. Med. 1989:31:902-908.*

International Organization for Standardization : *Mechanical vibration- guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted*

vibration(ISO 5349). Geneva, 1986.

Radwin RG, Armstrong TJ, Vanbergeuk E : *Vibration exposure for selected power hand tools used in automobile assembly. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1990:51(9):510-518.*

Wasserman DE : *Editorial : To weight or not to weight that is the question. J. Occup. Med. 1989:31:909.*

Raynaud, M : *Local asphyxia and symmetrical gangrene of the extremities, M.D. Thesis 1862 Paris in selected Monographs. London: New Sydenham Society 1862.*

Dart, EE : *Effects of high speed vibrating tools on operations engaged in the airplane industry. Occup. Med. 1946: 1: 515-518.*

Pecola, LJ : *Survey of current status of Raynaud's phenomenon of occupational origin. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1960:21:80-83.*

Taylor W : *"The vibration syndrome". London. Academic Press. 1974.*

Letz R, Cherniack MG, Gerr F, Hershman D, Pace P : *A cross sectional epidemiological survey of shipyard workers exposed to hand-arm vibration. Br. J. Ind. Med. 1992:49:53-62.*

Futatsuka M, Yusutake N, Sakurai T, Matsumoto T : *Comparative study of vibration disease among operators of vibrating tools by factor analysis. Br. J. Ind. Med. 1985:42:260-266.*

Starck J : *High impulse acceleration levels in hand-held vibratory tools; An additional factor in the hazards associated with the hand-arm vibration syndrome. Starck J. Scand. J. Work Environ. Health. 1984:10:171-178.*

Musson Y, Burdorg A, Drimmelen DV : *Exposure to shock and vibration and symptoms in workers using impact power tools. Ann Occup Hyg 1989:33:85-96.*

Taylor W, Brammer AJ : *Vibration effects on the hand and arm in industry: An introduction on review. In : Brammer AJ, Taylor W, ed. Vibration effects on the hand and arm in industry. Wiley, New York, NY 1982, pp 1-12.*

NIOSH : *"Criteria for a recommended standards : Occupational exposure to hand-arm vibration." Cincinnati : National Institute for Occupational Safety and Health. 1989:*

DHEW Pub 83-110.

National Institute for Occupational Safety and Health : *Vibration white finger disease in U.S. workers using pneumatic chipping and grinding hand tools II: Engineering testing(DHHS[NIOSH] Publication No. 82-101). Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1985:46(4):211-219.*

Lombard, R and S Holt : *Measurement of chain saw*

handle vibration. In *vibration effects on the hand and arm in industry*, edited by A. J. Brammer and W. Taylor. New York : John Wiley & Sons, 1982. pp. 203-209.

Pelmear PL, Taylor W, Wasserman DE : *Hand-arm vibration : A Comprehensive guide for occupational health professional*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992 : pp. 107-110.

Griffin MJ : *Handbook of human vibration*. London : Academic Press, 1990. pp. 633-671.

Wasserman DE : *Raynaud's phenomenon as its relates to hand-tool vibration in the workplace*. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1985;46:B10-B18.