

응용논문

진동모드에 따른 각종 장갑의 방진효과 분석

- An Analysis of Vibration Attenuation Effects of the different type of Gloves and Drilling Mode -

황성환*

Hwang, Seong-hwan

이형일*

Lee, Hyung il

이동춘

Lee, Dong-choon

Abstract

The objective of this study is to evaluate the vibration attenuation effects of the different type of gloves and drilling mode while operating a light-weighted powered hand drill. For the experimental design, five different kinds of glove(barehanded, cotton, partly coated, anti-vibration, and open-finger vibration glove), two types of push force level(100N and 200N), and two types of drilling mode(impact and non-impulsive) were considered. Six healthy male subjects were employed to drive screws into a vertically mounted marble plate with a powered hand drill in a randomly ordered experimental conditions. The findings of this study are summarized as follows ; (1) It was found that the best combination of overall RMS transmissibility was using impact drilling mode with anti-vibration glove among evaluated experimental conditions (2) The wearing open finger vibration glove in mid-frequency level and anti vibration glove with impact drill in high-frequency were the best in the result from mean corrected transmissibility equation of ISO 10819.

1. 서론

동력수공구로부터 손으로 전달되는 진동에 아무런 보호장구 없이 장기간 노출되었을 때는 국소진동증후군(HAVS; hand-arm vibration syndrome) 등의 누적외상이 발생할 가능성이 많다. 따라서 이러한 직업성 질환을 예방하기 위해서는 우선 진동의 전달특성과 진동과 작업조건 간의 상관성에 관한 기초연구가 필요할 뿐만 아니라 손잡이나 장갑착용이 진동전달에 어느 정도의 효과가 있는지를 정량적으로 평가할 필요가 있다.

우리나라 작업자를 대상으로 하여 공구로부터 발생한 진동이 손-팔 시스템에 어떻게 전달되며, 어느 정도로 감쇠하는가에 대해서는 장규표(1998)와 김길주(1999)의 연구를 들 수 있다. 장규표는 전동수공구의 종류, 미는 힘, 작업 형태에 따라 손, 손목, 전완에 전달되는 진동가속도의 크기를 구했으며, 김길주는 작업면, 공구무게, 미는 힘에 따른 진동전달특성 뿐만 아니라 생리적 부담까지도 연구실험하여 인간공학적 측면에서 최적 수공구 작업조건을 제시하였다.

* 동아대학교 산업시스템공학과

동력수공구에서 발생하는 진동은 충격형 진동(shock-type vibration)과 비충격형 진동(non-impulsive vibration)으로 구분할 수 있으며, 충격형 진동에 노출되었을 때가 비충격형에 비해 더 많은 기계적 진동에너지의 흡수와 함께 손의 힘을 증가시키게 됨으로써, 진동으로 인한 장해의 위험을 증가시킨다(Burström and Sörensson, 1999).

한편 진동전달량 감쇠를 위해서는 진동원의 저진동 설계, 진동원과 인체 접촉부 사이에 진동 감쇠 재질 삽입, 공구의 원격사용 및 작업자의 일일 노출시간 감소 등의 방법이 제시되고 있다. 이 중 현실적 측면을 고려할 때, 이미 생산되어진 공구를 사용할 때에는 진동감쇠 재질을 삽입하는 것이 타당한 방법이라 할 수 있으며, 여기에는 공구손잡이에 밴드처리를 하거나 장갑을 착용하는 것을 예로 들 수 있다. 그러나 밴드처리법은 사용수명이 짧고 손잡이의 지름을 증가시키므로 또다른 CTDs의 발병원인이 될 수 있다(Wasserman and Wasserman, 2000). 또한 장갑착용 역시 손의 이동성과 정밀도의 저하 및 작업 완료에 필요한 수행시간을 증가시킨다(Plummer, 1985 ; Bellingar and Slocum, 1993 ; Bense, 1993 ; Muralidhar and Bishu, 1994). 장갑 착용의 효용에 대해서도 Gurram 등(1994)은 장갑이 진동전달을 효과적으로 감쇠시킬 수 없다고 보고하고 있는가 하면 Goel 등(1987)은 공기압축식 Chipping hammer 사용시 가죽과 Porton 및 Sorbothane 패드 처리된 장갑이 맨손에 비해 손으로 전달되는 진동을 보다 더 감쇠시킨다고 보고하고 있다. 또한 Chang 등(1999)은 장갑과 손목지지대(wrist support)의 착용에 대한 평가에서 맨손에 비해 면, 나일론 손가락 개방형(open-finger)장갑의 손으로 진동감쇠능력이 우수하나, 손목지지대는 그다지 유용하지 않다고 보고한 바 있다. 그 외에도 김선술(1995)은 자동차 조립공정에서의 공기압축식 진동공구에 대한 국소진동 평가에서 여러 재질에 대한 진동감쇠 효과를 평가하고 있으며, 이러한 방진장갑은 진동 감쇠에 유효하다고 결론 내리고 있다.

따라서 본 연구에서는 드릴의 진동 발생 유형과 장갑 종류 및 미는 힘에 따른 진동감쇠 효과를 분석하여 진동 수공구 사용으로 인한 장해를 줄일 수 있는 적절한 장갑(glove)의 유형을 제시하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자

본 연구에서는 직업적인 드릴링 작업을 한 경험이 없을 뿐만 아니라 근골격계 장해(musculoskeletal disorder) 징후나 상해 경험이 없는 남자대학생 6명을 피실험자로 선발하였다. 이들의 평균 신장은 176.8 ± 3.43 cm, 평균 몸무게는 73.7 ± 3.20 kg이었다.

2.2 실험장치

본 연구의 실험장치로는 마틴식 인체측측기(Martin type anthropometric kit), CAS 전자저울, AEG사의 전동 드릴(220V, 60Hz, 25,000RPM, 270mm) 등을 사용하였으며, 콘크리트용 8mm 드릴 날과 대리석을 작업대상물로 사용하였다. 진동 측정 및 분석을 위해 n-Code dAtage와 Nsoft 진동측정 및 분석 시스템(Fig. 1), 그리고 Kistler사의 가속도 센서를 사용하였으며, 센서의 규격은 Table 1과 같다.

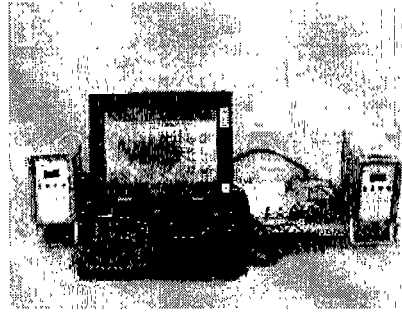


Fig. 1 Vibration pick up and analysis system

Table 1. Specification of Kistler Accelerometer

| Position | Type | SN | 측정 용량 |
|----------|----------|---------|-------|
| Tool | 8790A500 | C125325 | 500G |
| Hand | 8690C50 | C127159 | 50G |

2.3 실험방법

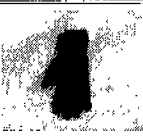
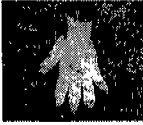


2.3.1 실험변수

본 실험에서는 Table 2와 같이 4종류의 독립변수와 6가지의 통제변수를 채용하였으며, 비기중 RMS값과 ISO 10819에 의한 평균수정전달률을 실험기준(Criterion)으로 설정하였다. 또한 실험에 사용된 4가지 장갑의 특성은 Table 3과 같다.

Table 2. Experimental variables

| Variables | Levels |
|-----------------------|--|
| Independent variables | Tool mode(2) : Impact, General |
| | Type of Gloves : Barehanded(B), Cotton(C), Partly Coated(P), AntiVibration(A), Open-finger(O) |
| | Feed Force(2) : 100N, 200N |
| Control variables | Material : Marble(Shore hardness: 884) |
| | Working hand : Dominant hand |
| | Work Surface Orientation : Vertical |
| | Posture : Standing |
| | Wrist angle : natural Elbow angle : 90° |
| Dependent variables | Unweighted RMS acceleration[G], Transmissibility and Mean Corrected Transmissibility |

Table 3. Characteristics of types of glove

| No. | Type of gloves | Material | Feature |
|-----|--|--|---|
| A | Ergodyne ProFlex Anti-vibration glove with wrist support | Leather(45%), Lycra(5%), Nylon(15%), Rubber(10%), Polyester(15%), Visco-elastic polymer(10%) |  |
| C | Cotton glove for general and factory work | Cotton(70%), Polyester(30%) |  |
| O | OTOS Glove Man (open finger) | Sorbothane |  |
| P | Partly coated glove for engineering and packing | Cotton(70%), Polyester(30%), natural gum coated |  |

※ B 는 Barehanded condition이므로 그림에서 제외되었음

2.3.2 실험절차

본 실험에 앞서 실험 목적에 적합한 피험자 6명을 선발하였으며, 모의실험 과정을 통해 맨손 작업 조건하에서 3분 이상 일정하게 미는 힘을 유지할 수 있도록 적응훈련을 실시하였다. 그 후 공구에서 손으로 전달되는 진동 전달량에 영향을 줄 수 있는 신체부위(손 길이 · 너비 · 두께와 손바닥 길이 · 둘레 등)에 대해 인체 계측을 실시하고 Fig. 2와 같이 X_h , Y_h 및 Z_h 의 3축 진동가속도계를 공구 손잡이와 손등(3th metacarpal bone)에 부착한 후 완전 랜덤화된 실험 조건하에서 실험을 실시하였다. 각 실험간에는 피로에 의한 영향을 최소화하기 위해, 1회 실험 실시 후 최소 10분간의 휴식 시간을 가졌고, 실험 도중 피험자가 주어진 실험조건을 유지하지 못하였을 경우에는 재실험을 실시하였다.



Fig. 2. Position of accelerometers and vibration axial orientation

2.3.3 데이터 분석

본 연구에서는 CAS 전자 저울을 통해 표시된 값이 주어진 조건에 $\pm 10\%$ 로 만족하는 경우 10초 동안 데이터를 획득하였으며, 이 데이터를 time domain 상의 그래프에서 가장 안정된 3초간의 구간 데이터를 선별한 후, Fast Fourier Filter를 사용하여 6 Hz 이하의 저주파 성분은 소거하였다. 또한 이 데이터를 기반으로 unweighted RMS 값 및 전달률을 계산하였으며, ISO #10819(1996) 기준에 제시된 평균수정전달률을 구하였다. 또한 SAS version 6.12를 이용하여 분산분석 및 Duncan test를 실시하였고, 유의적인 차이가 없는 3인자 교호작용은 오차항에 풀링하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 RMS 전달률 분석

Table 4는 공구와 손등에서 측정된 unweighted RMS 가속도 값으로부터 계산된 전달률에 대한 분산분석 결과로, 공구모드와 장갑종류는 유의적인 차이를 보이고 있으나($p < 0.01$), 미는 힘은 유의한 차이를 보이지 않고 있다. 또한 2인자 교호작용인 A×B가 유의한 차이를 보이고 있다($p < 0.01$). Fig. 3은 공구모드와 장갑종류에 대한 2인자 교호작용을 나타내는 것으로, 장갑은 비충격형 공구 모드에 비해 충격형 모드에 비해 효과적인 감쇠능력을 발휘하고 있다. 또한 가장 효과적으로 진동을 감쇠시키는 수준 조합은 충격형 드릴 모드 사용시 방진장갑을 착용하는 것이며, 비충격형 모드만을 고려했을 시에는 면장갑이 가장 효과적이었다.

Table 4. ANOVA of transmissibility between tool and hand

| Source | DF | SS | MS | F | Pr>F |
|-------------------|-----|--------|--------|--------|----------|
| A (Mode) | 1 | 1.3142 | 1.3142 | 192.94 | 0.0001** |
| B (Gloves) | 4 | 0.1075 | 0.0269 | 3.95 | 0.0051** |
| C (Feed Force) | 1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.01 | 0.9390 |
| A×B | 4 | 0.1362 | 0.0341 | 5.00 | 0.0010** |
| A×C | 1 | 0.0149 | 0.0149 | 2.18 | 0.1427 |
| B×C | 4 | 0.0074 | 0.0019 | 0.27 | 0.8953 |
| Error | 104 | 0.7084 | 0.0068 | | |
| Total | 119 | 2.2885 | | | |

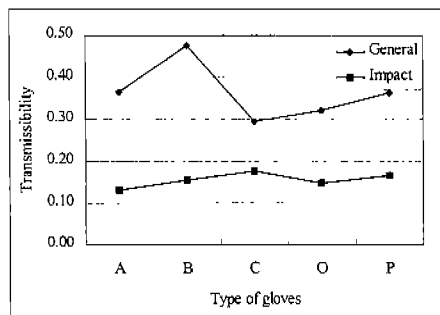


Fig. 3. Effect of interaction between drilling mode and glove types

3.2 ISO 평균수정전달률에 의한 평가

ISO(1996)에서는 맨손일 때의 진동전달률을 기준으로, 평가 대상 장갑의 전달률을 정상화(normalize)하는 방법을 제시하고 있다. 이렇게 정상화한 값이 1 이상일 경우에는 진동이 증폭되는 것을 말하며, 1 이하일 경우에는 진동이 감쇠됨을 뜻한다.

3.2.1 중주파수 대역에 대한 평가

Table 5는 중주파수 대역(31.5~200Hz)에서의 평균수정전달률에 대한 분산분석결과로, 장갑종류와 미는 힘은 유의적인 차이를 보이고 있다($p < 0.01$). Table 6은 장갑종류에 따른 평균수정전달률 값으로, 모두 1 이하의 값을 보이고 있으므로 모든 장갑이 진동감쇠능력을 가지고 있음을 알 수 있으며, Duncan test 결과 방진장갑과 개방형이 같은 그룹에 속하고, 개방형장갑의 감쇠능력이 가장 효과적이며 다음으로 방진, 면, 반코팅장갑의 순이다. Table 7은 미는 힘에 따른 평균수정전달률 값으로 미는 힘이 클수록 중주파수 대역에서의 평균수정전달률이 작아지는 것을 알 수 있다.

Table 5. ANOVA of mean corrected transmissibility at Mid-frequency

| Source | DF | SS | MS | F | Pr>F |
|-------------------|-----|--------|--------|-------|----------|
| A (Mode) | 1 | 0.0056 | 0.0056 | 0.17 | 0.6767 |
| B (Gloves) | 4 | 1.3639 | 0.3410 | 10.56 | 0.0001** |
| C (Feed Force) | 1 | 0.3868 | 0.3868 | 11.98 | 0.0008** |
| A×B | 4 | 0.2897 | 0.0724 | 2.24 | 0.0694 |
| A×C | 1 | 0.0853 | 0.0854 | 2.64 | 0.1070 |
| B×C | 4 | 0.1201 | 0.0300 | 0.93 | 0.4495 |
| Error | 104 | 3.3583 | 0.0323 | | |
| Total | 119 | 5.6099 | | | |

Table 6. Mean corrected transmissibility by glove types

| Type of gloves | Mean corrected transmissibility | Duncan grouping |
|----------------|---------------------------------|-----------------|
| A | 0.77 | A |
| B | 1.00 | B |
| C | 0.91 | B |
| O | 0.71 | A |
| P | 0.93 | B |

Table 7. Mean corrected transmissibility by feed force

| Type of feed force | Mean corrected transmissibility | Duncan grouping |
|--------------------|---------------------------------|-----------------|
| 100N | 0.92 | A |
| 200N | 0.81 | B |

3.2.2 고주파수 대역에 대한 평가

Table 8은 고주파수 대역(200~1024Hz)에 대한 평균수정전달률의 분산분석 결과로 공구모드와 장갑종류에 따라 유의한 차를 보이고 있으며($p < 0.01$), 두 인자간에 교호작용도 있다($p < 0.05$). Fig. 4는 공구모드와 장갑종류간의 교호 작용을 나타내는 것이며, 비충격형 모드에 비해 충격형 모드의 평균수정전달률이 낮다. 충격형 모드 사용 시 방진장갑의 착용이 손-팔 시스템으로 전달되는 진동량을 최소화시키는 것으로 나타나고 있으며, 각 모드에 대해 모두 맨손의 경우보다 전달 진동량을 감소시키는 것으로 나타났다. 또한 비충격형 모드만을 고려시에는 면 장갑이 가장 우수하며, 충격형 모드만을 고려하였을 시에는 방진 장갑 및 면 장갑이 방진장갑으로서의 효과를 가져올 수 있는 것으로 밝혀졌다.

Table 8. ANOVA of mean corrected transmissibility at High-frequency

| Source | DF | SS | MS | F | Pr>F |
|-------------------|-----|---------|--------|-------|-----------|
| A (Mode) | 1 | 2.3550 | 2.3550 | 34.98 | 0.0001** |
| B (Gloves) | 4 | 1.0683 | 0.2671 | 3.97 | 0.0049*** |
| C (Feed Force) | 1 | 0.0001 | 0.0001 | 0.00 | 0.9676 |
| A×B | 4 | 0.7379 | 0.1845 | 2.74 | 0.0325* |
| A×C | 1 | 0.1199 | 0.1199 | 1.78 | 0.1851 |
| B×C | 4 | 0.1033 | 0.0258 | 0.38 | 0.8198 |
| Error | 104 | 7.0023 | 0.0673 | | |
| Total | 119 | 11.3869 | | | |

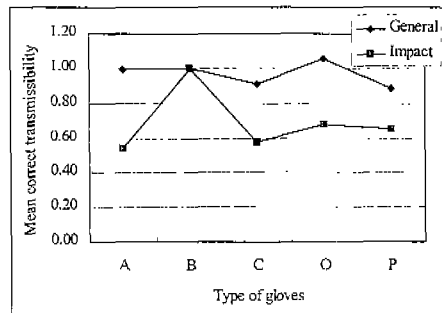


Fig. 4. Effect of interaction between drilling mode and glove types by mean corrected transmissibility

IV. 결 론

본 연구에서는 동일한 조건에서 발생진동의 형태에 따라 장갑의 방진효과의 유용성을 평가하기 위하여, 충격형 모드와 비충격형 모드의 선택적 사용이 가능한 경진동드릴을 사용하여, 미는 힘에 대한 평가와 아울러 일반적으로 가장 널리 사용되고 있는 면장갑, 반코팅장갑과 더불어 방진 소재를 활용한 방진장갑과 개방형 방진장갑을 선택하여 맨손작업을 기준으로 평가하였다.

전체 RMS 전달률 분석 결과 공구모드와 장갑의 형태에 대한 2인자 교호작용에 대한 분석에서, 장갑은 비충격형 공구모드에 비해 충격형 모드에서 보다 효과적인 감쇠능력을 발휘하였다. 가장 효과적인 진동감쇠를 보이는 수준 조합은 충격형 드릴모드 사용시 방진장갑을 착용하는 것이었다. ISO 기준에 의한 평가 결과, 중주파수 대역에서는 실험에 사용된 모든 장갑이 맨손작업에 비해 진동감쇠 효과를 가져올 수 있는 것으로 나타났으며, 이 중 개방형 방진장갑의 착용이 가장 효과적이었다. 또한 고주파수 대역에서는 공구모드와 장갑의 유형에 교호작용이 존재하였고, 비충격형 드릴링 모드에 비해 충격형의 경우 보다 효과적인 진동감쇠능력을 나타내었으며, 가장 효과적인 진동감쇠능력을 보이는 수준 조합은 충격형 모드 사용시 방진 장갑을 착용하는 것이었다.

본 연구의 결과를 종합해보면 비충격형 모드에 비해 충격형 모드로 드릴 작업을 수행할 시에 진동발생량이 보다 크므로 작업자에게 높은 진동 발생으로 인한 많은 부담을 주게 되며, 어떠한 종류의 장갑을 착용하더라도 맨손에 비해 어느 정도의 진동 전달량을 감쇠시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 충격형 모드에서 방진장갑을 착용하는 것이 인체에 영향을 줄 수 있는 진동전달량을 최소화시킬 수 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 김길주; “진동드릴 작업시의 진동전달 특성과 생리적 작업부하 평가”, 박사학위논문, 동아대학교, 1999.
- [2] 김선술; “자동차 조립공정에서 공기압력식 진동공구의 국소진동 평가”, 보건학석사학위논문, 서울대학교, 1995.
- [3] 장규표; “전동 수공구 사용시 진동전달 특성의 인간공학적 연구”, 박사학위논문, 동아대학교, 1998.
- [4] Bellingar, T. A. and Slocum, A. C.; “Effect of protective gloves on hand movement: an exploratory study”, *Applied Ergonomics* 24(4): 1055-1062, 1993.
- [5] Bensel, C. K.; “The effects of various thickness of chemical protective gloves on manual dexterity”, *Ergonomics* 36(6): 687-696, 1993.
- [6] Chang, C. H., Wang, M-J. J., and Ling, S. C.; “Evaluating the effect of wearing gloves and wrist support on hand-arm response while operating an in-line pneumatic screwdriver”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 24: 473-481, 1999.
- [7] Wasserman, Donald E. and Wasserman, Jack F.; [<http://www.engr.utk.edu/ishv/paper.html>], 2000.

- [8] Goel, V. K. and Rim, K.; "Role of gloves in reducing vibration: an analysis for pneumatic chipping hammer", *American Industrial Hygiene Association Journal* 48(1): 9-14, 1987.
- [9] Gurrum, R., Rakheja, S., and Gouw, G. J.; "Vibration transmission characteristics of the human hand-arm and gloves", *International Journal of Industrial Ergonomics* 13: 217-234, 1994.
- [10] ISO 10819; "Mechanical Vibration and shock - Hand-arm vibration - Method for the measurement and evaluation of the vibration transmissibility of gloves at the palm of the hand", International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1996.
- [11] Lage Burström and Anna Sörensson; "The influence of shock-type vibrations on the absorption of mechanical energy in the hand and arm", *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 23: 592, 1999.
- [12] Muralidhar, A. and Bishu, R. R.; "Glove evaluation: a lesson from impaired hand testing." In: Aghazadeh, F. (Ed.), Advance in Industrial Ergonomics and safety VI, Taylor and Francis, London, pp. 619-625, 1994.
- [13] Plummer, R., Stobbe, T., Ronk, R., Myers, W., Kim, H., and Jaraiedi, M.; "Manual dexterity evaluation of gloves used in handling hazardous materials", Proceedings of the Human Factors Society 30th Meeting, Santa Monica, California: 819-823, 1985.