

Title

Development and Assessment of Shovel Applying Foothold

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to develop a farming shovel to reduce workload, which helps farmers lower the risk of musculoskeletal disease.

Background: Most of work using farming tools including shovels requires repetitive works and awkward postures on body parts and it could possibly cause work-related musculoskeletal disorders. It is necessary to develop and distribute farm equipment tools in order to reduce physical workload.

Method: To improve the most uncomfortable task perceived by ten farmers during working with a shovel, the improved shovel was designed and made as a prototype for experiment for the comparison of the existing and improved shovel. Twenty males were recruited for this experiment and it was measured muscle activity (%MVC) of six body parts and subjective discomfort ratings by body parts during working with a shovel. A paired t-test was performed to compare physical workload between the existing shovel and the developed one.

Results: A shovel applying foothold tied between shaft and blade was designed, which can help workers to reduce repetitive bending back and pressures for upper limbs while digging soil. According to compared evaluation of the developed shovel and the existing shovel, the developed shovel's %MVC in all experimental muscles was significantly lower than those of the existing shovel. The developed shovel showed the biggest drop in perceived subjective discomfort rating of back, followed by arm and neck compared to the existing shovel.

Conclusion: It was confirmed that attaching a foothold to a shovel was an effective way of reducing workload in back and upper limbs during digging.

Application: In the near future, if we put the prototype of developed shovel to practical use after making up for defects, it will help farm work environment to make healthier and safer.

Keywords

Shovel, Foothold, EMG, farmers

1. Introduction

농업인에게 발생하는 직업성 질병 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 근골격계 질환이다 (KOSIS, 2015). 농작업 인구의 고령화가 심각하며 (Statistics Korea, 2010), 자연환경이 대부분인 농작업장은 작물의 특성상 작업환경을 개선하는데 한계가 있다는 특성이 있다. 농촌의 경우 많은 부분 기계화가 이루어지면서 수작업이 과거에 비해 큰 비율로 감소하였지만 농업 특성상 작업 시의 불편한 자세, 반복적인 동작, 그리고 과도한 힘의 사용 등이 원인이 되는 만성적인 다양한 질병이 나타나고 있다(Park et al., 1994). 특히 농작업은 노동 집약적인 특성을 가지고 있으며, 작업의 내용 및 방법이 표준화되어 있지 않고, 비연속적인 작업과 특정기간 동안에 작업이 집중됨으로써 근골격계질환이 발생할 가능성이 높은 편이다. 최근 들어 새로운 농업기술의 진보와 함께 농작업 시간이 증가하고 있으며, 농업인구의 고령화 및 여성 농업인의 증가와 노동력의 부족에 따른 작업량의 증가로 인해 근골격계 질환 문제의 심각성은 더 높아지게 되었다(Son and Sin, 2009).

최근 농작업의 편리성 향상을 위해 사용되는 대부분의 농기구가 작업자의 인간공학적 측면을 고려하여 개선되고 있고, 새로운 형태의 도구들이 개발되고 있다. 또한 농촌진흥청의 농작업안전모델마을 시범사업이나 편이장비 지원사업을 통해 작업부담 경감과 작업의 효율성 향상을 위한 개선이 추진되고 있다. 하지만 여전히 대부분의 농업인은 불편한 작업자세와 반복작업이 발생하는 작업환경에 노출되어 있는 실정이다. 거의 모든 농업용 수공구들은 일자형 형태를 가지고 있어 작업형태에 따라 적절한 작업자세를 유지하는 것이 어렵고, 손목, 팔, 어깨, 허리 등이 뒤틀리거나 접히게 되어 근육과 관절에 무리가 가게 된다.

농작업 안전과 편리성 증진을 위한 관련 선행연구들을 살펴보면, 농작업에서의 근골격계질환 유발요인을 파악하고 개선원리를 제안하는 연구(Jeong and Kim, 2011; Jung, 2011), 농작업 편이도구에 대한 인간공학적 개선사례를 제시하는 연구(Lee et al. 2010; Kee et al. 2011), 농작업 편이도구를 개발하거나 개선된 도구에 대한 효율성을 평가한 연구들(Lim et al. 2014; Lee et al. 2010; Jung and Jung, 2007; Ha et al. 2012) 정도이다. 특히 농기구 중에서 삽에 관련된 연구로는, 삽을 이용한 작업자세와 부담에 대한 인간공학적 연구 (Sin, 2000), 물리적 불편함과 누적외상성 질환을 최소화하기 위한 삽의 디자인 개선에 대한 연구(Lee, 2001) 정도로 미흡한 상태이며, 최근에는 연구 실적이 없는 실정이다.

본 연구에서는 농업인을 대상으로 기존 삽을 이용한 작업의 개선점을 도출하고, 작업부담을 줄일 수 있는 개선된 삽의 디자인을 제안하고 시제품을 제작하여, 기존 삽과 개발 삽과의 사용효과를 비교 평가하고자 하였다.

2. Method

2.1 개선된 삽의 설계 및 제작

작업부담 경감이 가능한 삽의 개발포인트를 도출하기 위해, 비확률표집을 통해 선정된 농업인 10명의 농가를 방문하여 기존의 삽을 이용한 작업에서 인지하는 불편사항을 설문조사 하였다. 기존의 삽이란 KS B7351(삽 및 스푸)규격을 가진 삽으로 정의하였다.

조사내용은 손잡이의 그림감, 땅의 흙을 퍼 올릴 때의 신체부담, 반복작업에 의한 피로, 삽자루의 두께 총 4 항목으로 구성하였다. 불편도는 '매우 편하다' 1 점에서 '매우 불편하다' 5 점까지이며, 점수가 높을수록 불편하다고 인지하고 있음을 나타낸다.

농업인을 대상으로 조사된 가장 불편한 요소의 개선에 중점을 두고 개발 삽을 설계하였다. 설계된 디자인을 바탕으로 기존 삽과의 작업부담 개선 효과 평가 실험을 위한 시제품을 제작하였다. 시제품은 기존의 시판되는 삼각형 손잡이가 부착된 나무재질의 자루가 부착된 삽을 이용하여 삽날과 자루 연결 부분에 본 연구에서 개발한 발누름판을 부착하는 방식을 선택하였다. 이는 기존 제품과의 비교평가 실험에 영향을 미칠 수 있는 삽날의 모양, 크기, 삽자루와 손잡이의 크기와 모양을 동일하게 통제하기 용이하기 때문이다.

2.3 사용효과 평가 실험


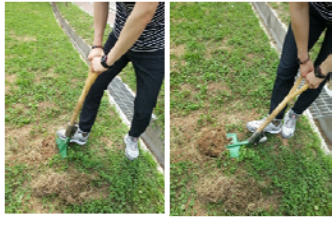
(1) 피실험자

피험자는 근골격계 증상 경험이 없는 성인 남성 20 명이다. 실험 전에 실험목적과 절차를 설명하고, 실험에 참여하도록 하였다. 피험자의 평균 연령은 27.5 ± 3.34 세, 신장 및 몸무게 평균은 각각 173.42 ± 5.54 cm 와 71.4 ± 4.24 kg 이다.

(2) 실험설계

기존 삽과 개발 삽의 작업부하를 비교평가하기 위한 삽의 조합은 Table 1 과 같다. 삽자루의 재질은 나무, 삽날의 모양은 등근형, 손잡이의 모양은 삼각형으로 모두 동일하다. 삽자루의 길이는 기존 삽 67cm, 개선된 삽 74cm 로 차이가 있는데, 이는 개선된 삽의 시제품이 기존 삽에 발누름판 장치를 부착함으로써 삽자루의 길이가 연장되었기 때문이다. 기존 삽과 개선된 삽 간의 비교평가 항목으로는 근활성도와 지각불편도를 이용하였다. 근활성도 측정 근육은 척추기립근, 이두근, 삼각근의 좌우 총 6 부위이다. 지각불편도는 목, 어깨, 팔, 허리, 손 부위에 대한 5 점 척도를 사용하였으며, '매우 편하다' 1 점에서 '매우 불편하다' 5 점까지이며, 점수가 높을수록 불편하다고 인지하고 있음을 나타낸다.

Table 1. Experimental Design

| | Existing Shovel | Developed Shovel |
|-------------------------|---|---|
| Shaft material and size | Wood, 67cm | Wood, 74cm |
| Blade style | Slightly curved scoop with upturned edges and a pointed center | Slightly curved scoop with upturned edges and a pointed center |
| Handle style | D-handle | D-handle |
| Picture of experiment |  |  |

(3) 실험방법

기존 삽과 개발 삽의 작업부하를 비교평가하기 위한 실험으로 삽 날을 땅에 박아 넣고, 땅의 흙을 퍼 올리는 모의작업을 실시 하였다. 실제의 작업환경과 최대한 유사하게 설정하기 위해 실외 실험을 실외실험으로 진행하였다. 모든 피실험자에 대한 작업 조건을 동일하게 하기 위하여 왼손은 삽의 몸체를 잡게 하고, 오른손은 삽의 손잡이를 파악한 자세로 작업을 수행하였다. 모의작업은 지정된 위치에서 10 번의 작업을 하는 동안 평균 근활성도, 지각불편도를 측정하였으며, 실험간 5 분의 휴식의 취하도록 하였다(Figure 1).

실험을 통해 측정된 자료는 SPSS PC (ver. 18.0)을 이용하여 기존 삽과 개선된 삽 간의 작업부담에 차이가 있는지를 확인하기 위하여 평균과 표준편차를 산출 한 후, 집단간 차이를 비교하는 대응표본 T-Test 를 실시하였다.

3. Results

3.1 기존 농업용 삽의 작업부담 평가 및 개선사항 도출

농업에 사용되는 삽의 형태와 일반적인 삽 사용시 불편사항을 파악하기 위해 농가 방문조사를 하였다. 삽은 땅을 파거나 흙을 뜨는데 사용되는 작업도구로서, 가장 일반적인 삽의 모양은 금속 소재의 날이 나무 소재의 자루에 부착되어 있고 자루끝에 삼각형의 손잡이가 달려 있는 형태이다. 삽을 이용한 일반적인 작업은 삽날을 땅에 박아 넣고 허리를 숙이고 팔의 힘을 더해 땅의 흙을 퍼 올리는 작업이다. 농업인 10 명을 대상으로 삽을 이용한 작업에서 인지하는 불편도를 조사한 결과, '흙을 퍼 올릴 때의 신체 부담감'이 가장 불편하였으며, 다음으로 반복작업에 의한 피로와 손잡이의 두께, 그립감 순으로 응답하였다(Figure 1). 본 연구에서는 가장 불편함을 느끼는 흙을 퍼 올릴 때의 신체적 부담을 경감할 수 있는 요소를 삽의 개선사항으로 선정하였다.

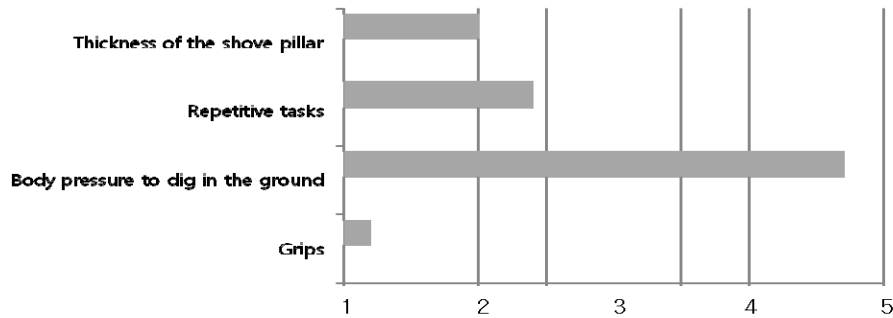


Figure 1. Subjective discomfort ratings for existing shovel (very comfort(1) ~ very discomfort(5))

3.2 발누름판이 부착된 삽의 설계 및 시제품 제작

기존 삽을 이용하여 삽날을 땅에 박아 넣고, 팔의 힘으로 굳어진 땅을 퍼올리는 작업에서 유발되는 허리 굽힘의 반복, 삽자루를 누르는 팔에 대한 반복적 부담의 개선에 중점을 두고 개선된 삽을 설계하였다. 허리 굽히는 각도와 팔에 대한 하중을 최소화하기 위해 삽날과 삽자루가 연결되는 지점에 탄성부재를 가진 발누름판 장치를 설계하였다. 발 누름판이 부착된 삽은 삽날과 삽자루에 발누름판 부재를 설치하여 작업자가 삽에 가하는 힘을 삽의 중심에 전달되도록 하여 작업 부담을 경감함과 동시에 효율적인 작업을 할 수 있도록 한다. 반복적으로 허리를 굽히는 작업의 번거로움을 줄여 편안하고 신속한 작업을 할 수 있도록 하였다. 삽의 체결부는, 작업부가 회전할 수 있도록 삽자루와 작업부를 힌지로 체결하고, 작업부가 고정되도록 체결부에 발누름판이 위치할 수 있는 걸림홈을 포함하였다. 삽자루의 연장방향과 수직된 한쪽 방향에 돌출된 발 누름판을 부착하고, 작업 시 발 누름판이 정확하게 복원되도록 탄성부재로 삽자루와 연결하였다. 작업자가 발을 올려놓고 힘을 가하면, 허리를 최대한 굽히지 않고 쉽게 흙을 퍼 올릴 수 있는 기능을 하도록 하였다. 설계도에 따라 제작된 프로토타입은 가장 흔하게 사용되고 있는 삼각형 손잡이가 부착된 나무재질의 삽자루에 적용하여 완성하였다(Figure 2).

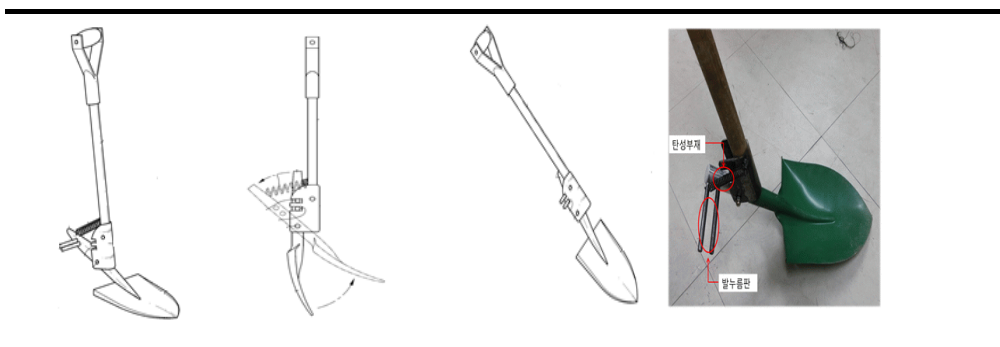


Figure 2. Design and Prototype of the Shovel Applying Foothold

3.3 기존 삽과 개선된 삽의 근활성도 및 주관적 불편도 비교평가 결과

(1) 근활성도를 이용한 작업부하 비교평가 결과

기존의 삽과 개선된 삽의 근활성도를 비교 평가한 결과, 개선된 삽의 작업에서 척추기립근, 이두근, 삼각근의 좌우 근육 모두 기존 삽의 작업보다 낮은 근활성도를 보였으며, 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 척추기립근의 경우 좌측, 우측 모두 개선된 삽 작업에서 현저히 근활성도가 낮았다(Table 2).

Table 2. %MVCs of each muscle groups

| Muscle | Type | Existing Shovel | | Developed Shovel | | T-value |
|-------------------|------|-----------------|------|------------------|------|------------|
| | | Mean | SD | Mean | SD | |
| Biceps Brachii(R) | | 40.02 | 3.44 | 20.02 | 1.06 | 24.535 *** |
| Biceps Brachii(L) | | 37.78 | 2.38 | 22.18 | 2.66 | 22.651 *** |
| Deltoid(R) | | 34.63 | 4.38 | 25.44 | 2.10 | 9.674 *** |
| Deltoid(L) | | 41.62 | 2.28 | 21.06 | 1.13 | 37.079 *** |
| erector spinae(R) | | 46.54 | 2.47 | 23.35 | 1.50 | 39.968 *** |
| erector spinae(L) | | 48.30 | 1.81 | 21.03 | 1.53 | 48.328 *** |

R: Right, L: Left, ***p<0.001

(2) 주관적 불편도 비교평가

기존 삽과 발누름판이 부착된 개선된 삽의 사용시 피험자가 주관적으로 인지하는 각 신체부위별 불편도를 비교평가 한 결과는 Table 3 과 같다. 개선된 삽 이용에서 허리부위의 주관적 불편도가 가장 크게 감소하였으며, 팔과 목의 불편도도 감소하였으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

Table 3. Subjective discomfort ratings by body parts

| Muscle | Type | Existing Shovel | | Developed Shovel | | T-value |
|----------|------|-----------------|------|------------------|------|------------|
| | | Mean | SD | Mean | SD | |
| Neck | | 2.7 | 0.48 | 2.3 | 0.68 | 2.449 * |
| Shoulder | | 3.1 | 0.74 | 2.6 | 0.52 | 1.861 |
| Arm | | 3.4 | 0.52 | 2.2 | 0.63 | 4.129 ** |
| Back | | 4.6 | 0.52 | 1.9 | 0.32 | 12.650 *** |
| Hand | | 2.8 | 0.42 | 2.9 | 0.57 | -0.429 |

very comfort(1) ~ very discomfort(5), ***p<0.001 **p<0.01 *p<0.05

4. Conclusion

본 연구에서는 농작업에서 흔하게 사용하는 삽에 대해 작업부담 경감을 위한 개선된 삽을 설계하고 시제품을 제작하여 기존 삽과의 작업부하를 비교평가하였다.

농업인을 대상으로 기존의 삽을 이용한 작업에서 인지하는 불편사항을 조사한 결과, '흙을 퍼 올릴 때의 신체 부담감'이 가장 크다고 응답하였다. 이에 따라 본 연구에서는 흙을 퍼 올릴 때의 허리 부담을 감소시키기 위하여 발 누름판을 부착한 삽의 구상도를 작성하고 시제품을 제작하였다.

기존의 삽과 개선된 삽을 이용한 작업에서의 근활성도 평가 결과, 실험에 사용된 모든 근육에서 개선된 삽을 이용한 작업이 근활성도가 낮게 나타나는 경향을 보였다. 기존의 삽은 허리를 숙여 삽을 흙에 박아 넣고 들어 올리는 동작이 개선된 삽을 사용하면 발로 발 누름판을 밟는 동작으로 대체되기 때문에 나온 결과라 사료된다. 게다가 주관적 신체 불편도를 함께 조사한 결과를 살펴보면, 허리, 목, 팔 부위에 개발 된 삽에서 낮은 불편도를 보임으로써, 발 누름판 부착의 효과가 확인되었다고 할 수 있다. 특히 허리부위에서 가장 큰 감소를 보여 개선된 발 누름판이 적용된 삽의 경우는 흙을 퍼 올릴 때의 부담감이 크게 감소하는 것을 알 수 있다.

다만, 한계점으로는 삽을 이용한 작업이 모두 같은 동작으로만 이루어 질 수 없기 때문에 보다 다양한 동작에 대한 정량적 평가가 요구된다. 또한 개선된 삽은 기존의 삽에 발 누름판과 연결 관절 부분의 무게가 추가되었기 때문에 장시간 반복 작업 시 무게에 의한 부담을 무시할 수 없을 것이라 예상되어 추후 고려해야 할 사항으로 사료된다. 향후, 개발 삽의 시제품을 보완하여 농업인에게 보급하기 위한 실용화를 추진할 필요가 있으며, 본 연구의 결과가 농업인들의 근골격계질환 예방을 위한 편이장비의 개선 및 개발관련 연구와 농작업환경 개선에 기여하기를 기대한다.

Acknowledgements

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ008420)", National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Ha, Y.S., Son, C.M., Nam, S.H. and Kim, J.H., Harvesting, transporting farm products with self-propelled power transportation devices reference on fruit vegetable farms in Gyeongbuk region, *The Korean Society of Industrials Application*, 14(1), 29-36, 2012.

Jeong, B.Y. and Kim, Y.H., Ergonomic guidelines and intervention procedures for farm workers. *Journal of the Ergonomic Society of Korea*, 30(4), 443-450, 2011.

Jung, H.S., Analysis and improvement methods of unsafe posture associated with various agricultural works. *Journal of the Ergonomic Society of Korea*, 30(4), 473-480, 2011.

Jung, I.J. and Jung, H.S., Verification of suitable height of plank seat for improving the health and safety of farmers, *Journal of the Korea Safety Management & Science*, 9(4), 11-15, 2007.

Kee, D.H., Son, Y.W. and Lee, I.S., Analysis of cases of ergonomic improvements of agricultural work support equipments, *Journal of the Ergonomic Society of Korea*, 30(4), 541-550, 2011.

Korean Statistical Information Service (KOSIS), Korean Farmers' Occupational Disease and Injury Survey, <http://kosis.kr> (retrieved September 20, 2015)

Lee, K.B., An ergonomics evaluation on the shovels of Korean standard, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 24(65), 31-40, 2001.

Lee, K.S., Kim, K.W., Choi, H.S., Kim, C.H., Nam, S.Y., Lee, K.M., Choi, Y.W. and Park, K.S., Evaluation of convenience equipment for improve work efficiency and preventing of farm work-related musculoskeletal disorders, *Journal of the Ergonomic Society of Korea*, 29(4), 495-503, 2010.

Lim, C.M., Chae, H.S., Seo, M.T., Lee, K.S., Kim, H.C., Kim, K.R. and Kim, S.W., Development of fruit harvest basket and assessment of its effectiveness, *Journal of the Ergonomic Society of Korea*, 33(5), 313-321, 2014.

Park, T.J., Kim, B.S. and Chon, H.J., Factors associated with farmers' syndrome, *Korean journal of rural medicine*, 19(1), 5-13, 1994.

Sin, J.G., A study of an ergonomics for the Korean standard shovels, Master's Thesis, *Cheong-Ju University*, 1-43, 2000.

Son, B.C. and Sin, S.H., "Agricultural work support equipment improvement by applying ergonomics", *Proceedings of 2009 Spring Symposium of the Ergonomics Society of Korea*, (pp. 348-352), 2009.

Statistics Korea, 2010 Census of agriculture, forestry and Fisheries, http://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/3/index.board?bmode=read&aSeq=250054 (retrieved September 20, 2015)