



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

손 진동을 줄이기 위한 보행형 제초기 제초날의  
설치각도에 관한 연구

A Study on Rotary Weeding Blade  
Installation Angle for Reduction of Hand  
Vibration in Working Type Cultivator

2014년 2월

서울대학교 대학원

바이오시스템 · 소재학부 바이오시스템공학전공

권 태 형

손 진동을 줄이기 위한 보행형 제초기 제초날의  
설치각도에 관한 연구

A Study on Rotary Weeding Blade  
Installation Angle for Reduction of Hand  
Vibration in Working Type Cultivator

지도 교수 이 중 용

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2014년 2월

서울대학교 대학원

바이오시스템·소재학부 바이오시스템공학전공

권 태 형

권태형의 공학석사 학위 논문을 인준함.

2014년 2월

위 원 장 김 경 욱 

부위원장 이 중 용 

위 원 김 학 진 

## 국 문 초 록

로터리식 보행형 제초기는 구조가 단순하여 크기가 작고 가볍기 때문에 국내 소규모 유기 밭에서 여성과 고령 노동자가 사용하기에 적합하다. 하지만 보행형 제초기는 작업자가 손잡이를 잡고 작업하는 형태이기 때문에 반복적인 진동에 지속적으로 노출되어 작업자의 건강에 영향을 미친다. 손잡이 진동은 작업부가 토양과 충돌하면서 발생하기도 한다. 본 연구는 제초날 설치 각도에 따라 토양에서 받는 반력에 관한 이론을 도출하고, 실험을 통해 이를 증명하고자 하였으며, 제초 성능도 확인하였다. 또한 앞의 이론을 통해 손 진동을 감소시키는 제초날의 설치 각도를 찾는 연구를 수행하였다.

본 연구에서 선정한 제초기구의 파라미터는 제초기의 전진속도, 디스크의 회전속도, 디스크 반경, 목표 제초 깊이, 토양에 진입하는 제초날의 길이, 제초날의 설치 각도 등 6가지로 하였다. 제초날의 폭은 길어질수록 토양으로부터 받는 반력이 더 커지지만, 이는 디스크의 개수와 전체 제초 작업폭과 관련이 있으므로 본 연구의 파라미터로 고려하지 않았다. 도출한 이론을 검증하기 위해서 진동실험과 제초실험 등 총 2회의 현장 실험을 수행하였다. 진동실험은 ISO 5349:1에 따라 실시하였으며 0, 4, 8°의 설치각도를 가진 제초날을 활용하였다. 제초실험은 농촌진흥청의 동력 중경제초기 시험 방법 및 검사 기준에 준하였다.

동역학 해석프로그램을 통해 제초기의 전진속도와 디스크의 회전속도에 따라 제초날이 토양에 충돌하고, 토양 내부에서 움직이는 것을 확인하였다. 그 결과, 토양 표면에서 제초날 상의 두 점 중 나중에 토양에 진입하는 점의 궤적이 다른 점의 궤적보다 제초기의 진행방향 쪽에 있는 경우, 제초날 등이 미경토를 눌러 제초날이 불필요한 반력을 받음을 확인하였다. 또한 제초날과 디스크 중심이 연직을 이루는 순간부터 제초날이 토양에서 나오는 순간까지는 제초날의 설치각도에 관계없이 나중에 토양에 진입하였던

점의 궤적은 경운 토양에서만 나타나는 것으로 확인되었다. 따라서 제초날 설치 각도와 기타 파라미터에 따른 불필요한 상방향 반력 발생 유무는 제초날의 선단과 이후의 점이 토양에 진입하는 위치에 따라 판단이 가능하였다. 두 진입지점의 거리를  $X_{MF}$ 라 하였으며 이 값이 0보다 작은 경우 반력이 발생한다는 가설을 세웠다.

$X_{MF}$ 는 앞의 여섯 개의 파라미터로 나타낼 수 있다. 진동실험에서는 시험구별로 해당 시험구에서의 제초기 속도와 제초날 설치 각도 등을 고려하여  $X_{MF}$ 를 계산하였고, 측정한 손잡이의 주파수 가중 가속도와 비교하였다.  $X_{MF}$ 의 부호에 따라 두 그룹을 나눠 T검정을 한 결과, 통계적 차이가 있는 것으로 나타났고( $p < 0.05$ ), 수지백증 발병 평균 진동 노출 기간이 17.53% 증가하는 것으로 추정되었다. 이는 현장실험을 통해 앞에서 도출한 가설을 수락한 것으로 볼 수 있다. 또한 설치각도가  $8^\circ$  인 제초날을 활용한 제초 실험한 결과, 제초율은 88.93%로 농촌진흥청 기준인 80%보다 높게 나타났다.

제초날의 설치 각도는 경운날의 절삭각과 관련이 있으며, 각도가 크면 동력 소모가 많아진다. 반면에 설치 각도가 커지면, 불필요한 상방향 반력이 발생하지 않을 가능성이 커진다. 따라서 동력 소모와 반력 발생에 관한 상충점을 찾고자 제초날의 최소 설치 각도를 이론식을 통해 도출하였다. 최소 설치 각도는 디스크 반경, 전진속도, 디스크 회전속도에 따라 다르며, 디스크 반경이 100 mm일 때  $4 \sim 27^\circ$ , 150 mm 일 때  $3 \sim 15^\circ$ , 200 mm 일 때  $2 \sim 10^\circ$  인 것으로 나타났다. 도출한 이론식을 통해 엑셀 기반 계산 프로그램을 개발하였으며, 이를 활용한다면 반력을 줄이고 손 진동을 감소시키는 제초날을 설계하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

---

**주요어 :** 로터리식 제초기, 손 진동, 제초날

**학 번 :** 2012-21123

# 목 차

1. 서론 .....	1
2. 문헌조사 .....	4
가. 기계 제초의 개요와 현황 .....	4
나. 유기농업에서의 제초 작업 연구 .....	8
다. 유기농업을 위한 밭 전용 제초기 연구 .....	11
라. 보행형 관리기의 손 진동에 관한 연구 .....	13
마. 로터리식 경운날의 형상 연구 .....	15
3. 재료 및 방법 .....	18
가. 제초날 설계 파라미터 .....	18
나. 진동 실험 .....	21
1) 제초날과 보행형 제초기 .....	21
2) 실험 장소 및 조건 .....	23
3) 실험 방법 .....	24
4) 진동 측정 장비 .....	25
5) 진동 측정 방법 및 데이터 처리과정 (ISO 5349:1) .....	27
5) 데이터 분석 .....	30
다. 제초 성능 실험 .....	31
1) 실험 장비 및 포장 정보 .....	31
2) 실험 방법 .....	32

4. 결과 및 고찰 .....	33
가. 제초날 설계 방안 .....	33
나. 진동 실험 .....	38
1) 진동 스펙트럼 .....	38
2) $X_{MF}$ 계산 .....	40
3) $X_{MF}$ 와 $a_{hw}$ 의 관계 .....	43
4) $D_y$ 비교 .....	44
다. 제초 성능 실험 .....	45
라. 최소 설치각도 제안 .....	47
5. 결론 .....	50
6. 참고 문헌 .....	52

## List of Figures

Fig. 1 Riding type weeder (DONGYANGTECHTOOL, 2013) .....	5
Fig. 2 Horizontal disk type weeder (HANSUNG T&I Co., LTD., 2013) .....	6
Fig. 3 Cultivator (Asia Agricultural Machinery, 2013) .....	7
Fig. 4 Mini-size cultivator (BaekDoo Machinery, 2013) .....	7
Fig. 5 Saw-type blade A (left) and B (right) (Lee et al., 2007) .....	10
Fig. 6 Horizontal shaft type weeder (left) and crank type weeder (right) developed by Rural Development Administration .....	11
Fig. 7 Un-weeded region shown in the center square due to slippage of the crank type cultivator .....	12
Fig. 8 Trace of hoeing blade tip with forward speed 0.3 m/s (left) and 0.4 m/s (right) .....	12
Fig. 9 Experimental blade shape (Beeny and Khoo, 1970) .....	15
Fig. 10 A typical rotary cultivator blade showing design parameters (Beeny and Khoo, 1970) .....	16
Fig. 11 Rotary weeding blade attached to disk .....	18
Fig. 12 Design and dynamic parameters on the rotary blade .....	19
Fig. 13 Trochoid trace of point F on weeding blade .....	20
Fig. 14 Rotary disk and weeding blade assembly, side view (right) and front view (left) .....	21
Fig. 15 View of test weeding cultivator .....	22
Fig. 16 Test site for hand vibration measurement .....	23
Fig. 17 Experimental plot design for hand vibration experiment (installation angle: 0, 4, 8°, speed: Slow, Medium, Fast) .....	24



Fig. 18 Tri-axial accelerometer, 3273A1T (Dytran, 2013) .....	25
Fig. 19 NI 9234 data acquisition module (NI, 2013) .....	25
Fig. 20 Measurement program based on LabVIEW 2009 .....	26
Fig. 21 Coordinate system of “Handgrip” position (ISO, 2001) .....	27
Fig. 22 Accelerometer attached to handle .....	27
Fig. 23 Experimental design of field test for weeding performance .....	32
Fig. 24 Simulation result when translational velocity was 0.4 m/s, disk angular velocity was 350 rpm, weeding depth was 30 mm and disk radius was 145 mm .....	34
Fig. 25 Trace of two points F and M on a blade .....	35
Fig. 26 Hand vibration spectrums in the y and z axis .....	38
Fig. 27 Speed of cultivator with three kinds of speed (S: Slow speed, M: Medium speed, F: Fast speed) .....	41
Fig. 28 Result of $X_{MF}$ and $a_{hv}$ .....	43
Fig. 29 View of test site, before and after weeding .....	46
Fig. 30 Cutting angle (MAFRA, 2002) and Installation angle .....	47
Fig. 31 Recommended installation angle of weeding blade, according to disk angular velocity, translational velocity (up) and disk radius .....	48
Fig. 32 Calculator spread sheet(Excel 2013) for determination of the minimum installation angle .....	49

## List of Tables

Table 1	Specification of KT-400 weeding cultivator .....	22
Table 2	Soil texture of test site for hand vibration measurement ...	23
Table 3	Specifications of data acquisition module for hand vibration measurement (NI, 2013) .....	26
Table 4	Soil texture of test site for weeding performance evaluation .....	31
Table 5	Result of calculation $X_{MF}$ with six factors .....	42
Table 6	The group mean total (lifetime) exposure duration depended on $X_{MF}$ and daily using time .....	44
Table 7	Result of weeding performance experiment (%) .....	45
Table 8	Simulation variables and their values for determination of the minimum installation angle of blade .....	47

## 1. 서론

식품의 원료인 농산물 생산은 식품 생산과정 중에 가장 첫 번째 단계로, 식품 안전성을 결정짓는 중요한 단계로 볼 수 있다. 건강에 관심이 많은 소비자들은 합성화학물질을 사용하지 않고 생산한 유기농산물을 선호한다. Jeong and Jang (2012)의 조사에 따르면, 유기가공식품 구매 시 인증마크를 확인한다는 응답이 72.8%로 나타나고 가족건강증진 여부에 대해 도움이 된다고 응답한 비율이 48.8%로 나타나는 등, 유기농업에 대한 소비자의 관심이 높다.

유기농산물을 비롯한 친환경농산물은 일반 농산물의 145 ~ 271% 수준으로 고가로 형성되며(Choi, 2012a) 이러한 이유 중 하나는 친환경유기농산물 생산의 특수성에서 비롯된다(Yoo, 2011). 유기농업은 합성화학물질을 사용하지 않기 때문에 농민이 잡초를 방제하는데 어려움이 있다. 잡초는 작물과 양수분 경합을 통해 작물의 품질과 생산량을 저해시키는 문제가 있기 때문에, 농민의 주된 관심사이다.

유기농업에서 잡초 방제 방법 중 하나인 인력제초는 배추의 경우 8.3 ~ 11.8 시간/10a (총 노동투하시간의 8.1~12.0%)로 노동력을 많이 소모한다(Kang et al., 2010). 이러한 인력제초는 농민에게 부담이 되고, 도시에 비해 높은 농촌의 고령화(Choi, 2012b)와 여성화(Kang, 2011)는 이러한 문제를 더욱 심각하게 한다.

기계 제초는 쇄토와 유사한 작업을 통해 토양을 전복하여 잡초를 방제하므로(Gruber and Claupein, 2009; Nakamoto et al., 2006), 방제에 효과적이며(Bond and Grundy, 2001), 노동 시간의 90%를 단축할 수 있는 장점이 있다(Won et al., 2008). 하지만 국내 밭의 경우에는 경사가 있는 산간지역에 위치하며 경지정리가 되지 않은 곳이 많아 대형 기계의 활용이

어렵다는 문제가 있다(Rhee, 2012). 또한 작목수가 많고 재배양식이 다양하며 규모가 영세하여 다품종의 농기계가 필요하여 기계 도입이 어려운 문제도 있다(Choi, 2012c). 이러한 이유들로 밭 제초 작업의 기계화율은 작목별로 다르지만 대부분 60% 미만으로 낮은 것으로 나타났다(Kim et al., 2013).

저농약 사용 인증을 통해 친환경 유기농산물 생산에 접근하였지만, 2009년 이후 신규 저농약 인증이 중단되면서 친환경농산물 인증 건수가 감소하고 있고(Choi, 2012a), 이는 제초 작업 등이 기계화되지 않은 현재 상황에서는 농업인들이 더 이상 유기농업으로 전환하기 어렵다는 것을 보여준다. 하지만 선진국의 경우 유기농산물 재배면적과 관련 시장이 꾸준히 증가하고 있고(Kwon and Yoo, 2000), 국내에서도 유기농산물에 대한 수요와 고소득을 위한 농민의 노력이 유기농산물 시장을 확대할 것으로 보인다(Kim et al., 2012a). 따라서 농민들에게 유기농업에 대한 진입 장벽을 낮추기 위해 관련 농작업의 기계화가 이루어져야 한다.

소형 보행형 제초기는 그 구조가 간단하고 가벼워 여성 노동자와 고령층이 사용하기에 적합하다. 따라서 소형 보행형 제초기는 밭 제초 작업의 훌륭한 대안이 될 수 있다. 하지만 보행형 제초기는 농민이 손잡이를 잡고 작업하는 형태이기 때문에 반복적인 진동에 노출되는 문제가 있다. 반복적인 진동에 노출된 작업자는 레이놀즈 증후군이나 수지백증 등의 근골격계, 혈관계 질환에 걸릴 수 있다(Park et al., 2004; Noh and Park, 2009). ISO 5349에서는 손 진동을 측정하고 평가하는 지침을 마련하고 있으며(ISO, 2001), 국내에서도 안전보건기술지침으로 손 진동 측정 및 평가지침을 마련하고 있는 등(KOSHA, 2012) 산업보건 측면에서 많은 관심을 받고 있다. 따라서 보행형 제초기의 손 진동을 줄여 농민의 보건을 위한 노력이 필요하다.

손잡이 진동의 진동원은 엔진과 작업부(Park et al., 2004)이고, 이 중 엔진에서 발생하는 진동에 관한 연구는 많이 이루어졌다. 하지만 작업부가

토양과 충돌하면서 받는 진동에 관한 연구는 미비하다. 로터리식 보행형 제초기와 작업 형태가 비슷한 경운기의 경운날 설계에 관한 연구는 비교적 많이 이루어졌다(Beeny and Khoo, 1970; Lee et al., 2003). 하지만 경운날의 본래 목적에 맞는 경운 성능 등에 초점에 맞춰져 있고, 반력에 관한 연구는 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 제초날 설치 각도에 따라 토양에서 받는 반력에 관한 이론을 도출하고, 실험을 통해 이를 증명하고자 하였다. 또한 제초날의 본래 역할에 맞게 일정 수준 이상의 제초 성능도 가져야 하므로 이를 확인하였다. 마지막으로 본 연구에서 도출된 이론을 바탕으로 반력을 줄이는 제초날의 설치 각도를 찾는 방법에 관한 연구를 하였으며, 이를 쉽게 계산할 수 있는 엑셀 기반 계산기 프로그램을 개발하였다.

## 2. 문헌조사

### 가. 기계 제초의 개요와 현황

화학적 제초를 배제한 잡초 방제법은 크게 물리적, 경종적, 생물적 방법들을 들 수 있으며, 통상적으로는 이 모든 방법을 병행하는 것이 바람직하다(Ock and Pyon, 2011). Kim and Shin (2012b)에 따르면, 기계적 방법에는 중경(cultivation or uphilling)과 예취(mowing)가 있다. 예취는 잡초를 베는 것으로 잡초의 경합력을 줄이고, 중경은 땅을 갈아주거나 배토하여 잡초를 방제하는데, 잡초를 묻어버리는 효과와 근계를 파괴해 버리는 효과가 있다. 중경은 파종 시기와 작물 재배 초기에 진행하고, 작물이 어느 정도 자란 이후에는 잡초에 비해 양수분 경합력이 우세하기 때문에 잡초의 영향을 덜 받는다. 이러한 점을 고려한다면, 중경이 농민의 제초 작업 횟수를 줄일 수 있기 때문에 비교적 유리하다고 볼 수 있다.

중경제초는 중경, 제초, 복토를 동시에 하는 중경제초기와 다목적용 관리기로 작업할 수 있다. KAMICO (2010)에 따르면, 관리기는 5개 업체, 동력제초기는 8개 업체, 동력중경제초기는 3개 업체에서 판매하고 있다. 관리기의 경우에는 보행형과 승용형으로 보급되어 있으며, 2011년 말 기준 국내 관리기 보급현황은 총 398,596대로 이 중 보행형은 358,978대로 승용형보다는 보행형이 더 많이 보급되었다(MAFRA, 2012). 관리기는 수도작용과 전작용이 따로 제작되고 있다.

밭에서 사용하는 중경제초기에는 동력 경운기용 컬티베이터, 트랙터용 컬티베이터, 롤링 컬티베이터, 로터리 컬티베이터가 있고, 전용제초기에는 위더(weeder)가 있다(Jeong and Kim, 1997). 동력 경운기용은 2조식, 3조식 중경제초기가 있고, 트랙터용 컬티베이터는 원판을 부착한 디스크 컬티베이터(disk cultivator), 중경작업을 주로 하는 스프링 타인 컬티베이터(spring tine cultivator), 작업날을 교체하여 사용할 수 있는 리지드 타인

컬티베이터(rigid tine cultivator) 등이 있다. 동력 경운기는 트랙터의 보급으로 인해 1998년에 959,976대에서 2011년에는 667,897대로 보유가 감소(MAFRA, 2012)하고 있기 때문에 동력 경운기용으로 제작하는 것은 곤란하다. 트랙터의 경우에는 보급이 꾸준히 증가하고 있지만, 밭 농사에서는 경운과 정지를 제외한 기계화가 잘 이루어지지 않았기 때문에 트랙터용 컬티베이터도 제외하였다. 롤링 컬티베이터나 로터리 컬티베이터는 회전날과 작업 조수 등이 차이가 있지만, 원리가 비슷하면서 또한 국내에 시판되는 전작용 보행형 관리기의 형태와도 원리가 유사하기 때문에 개발이 비교적 용이할 것으로 보인다.

국내에 시판되는 제초기는 승용형, 원판형, 로터리형 등의 형태가 있으나, 실제 밭에서 사용하기에는 부적합한 형태가 많다. 승용형(Fig. 1)의 경우에는 트랙터와 같은 이유로 접근성과 경사지 등 포장에서의 문제 때문에 사용이 어렵다.



**Fig. 1** Riding type weeder (DONGYANGTECHTOOL, 2013)

원판식 제초기(Fig. 2)는 수직회전축에 제초날을 부착하여 사용하는 형태로, 작업반경이 넓기 때문에 밭 고랑에서 사용하기에 부적합하다. 실제로

원판식 제초기는 잔디밭이나 과수원에서 사용되고 있다. 제초기란 이름을 갖고 나온 상품 중 일부는 잔디깎기용으로 중경제초기와 거리가 먼 경우도 있다.



**Fig. 2** Horizontal disk type weeder (HANSUNG T&I Co., LTD., 2013)

경운기 형태와 유사한 관리기(Fig. 3)는 아세아농기계 등 일부 소형 농기계 관리에서 자체 생산을 하고 있다. 하지만 국내 소규모 밭에 적용하기에는 다소 크기가 크고 무거운 편이다. 160 kg이 넘는 중량은 고령화, 여성화 되어가는 국내 농가에 적용하기 어려우며, 판매가격이 200~300만원으로 영세한 규모의 밭에서 사용하기에는 부담이 있다.





Fig. 3 Cultivator (Asia Agricultural Machinery, 2013)

국내 판매되는 소형 관리기(Fig. 4)는 일본, 미국, 이탈리아의 제품이 많으며, 이 중에 일본 제품이 주를 이루고 있다. 소형 관리기의 작업폭은 보통 30 mm 내외로 국내 밭에 적용이 용이하다. 무게는 20 kg 내외로 가벼워 휴대가 편리하다. 보통 100만원 이내로 영세 규모의 국내 밭에 적합하지만, 토양으로부터 받는 반력으로 인한 손 진동의 영향을 받기 쉽다.



Fig. 4 Mini-size cultivator (BaekDoo Machinery, 2013)

## 나. 유기농업에서의 제초 작업 연구

유기농업에서 제초 방법은 물리적, 생물학적, 경종적 방제법을 활용한다. 기계적 방제법은 물리적 방제법 중 많이 사용하는 방제법으로, 이에 대한 문헌을 연구한 사례가 있다. Bond and Grundy (2001)은 유기농업에서 사용할 수 있는 비화학적 잡초방제에 대한 문헌조사를 하였는데, 이에 따르면 Jones et al. (1995, 1996)은 잡초를 토양 표면에서 1 cm 정도 묻는 것이 잡초방제에 가장 효과적이라는 연구 결과를 얻었다. 또한 Baerveldt and Ascard (1999)는 잡초방제를 위해서 잡초가 땅에 완전히 묻혀야 하지만, 묻혀야 하는 깊이는 잡초 크기와 생장 양상에 따라 다르다고 하였다. 그리고 잡초 방제를 위한 적절한 타이밍은 Turner et al. (1999)에 따르면 작물 경합력에 달려있고, Pullen and Cowell (1997)은 잡초의 생장 단계에 따라 다르다고 하였다고 한다. 위 연구들에 따르면, 중경제초는 유기농업에서 사용할 수 있는 효과적인 잡초 방제법인 것을 알 수 있고, 또한 그 원리는 잡초와 작물의 경합력 차이에 근거하였다.

국내에서는 국내 실정에 맞는 중경제초기를 개발하고 이를 평가하는 연구도 있었는데, Kim and Kim (2007a)은 보행형 관리기에 부착하는 2조식 부분 중경제초기를 개발하고 성능시험을 통해 평가하였다. 제작한 중경제초기의 전진속도는 0.5 ~ 0.83 m/s이고, 이 경우 원활한 제초작업이 가능하다고 하였다. 이 연구는 중경제초기를 실제로 제작하고, 농촌진흥청이 제시하는 방법에 따라 평가한 연구 사례로 볼 수 있다. Kim and Jang (2007b)은 태양전지를 이용하여 원격으로 조종하는 중경제초기를 개발하고 무논에서 실험하면서, 작동하는 동안 소요되는 전력과 어느 정도 슬립이 있는지 등을 파악하였다. 이 연구는 추후 자동화와 에너지절감에 대한 가능성을 보여주었다.

중경제초기를 어떻게 활용하는지에 대한 연구도 진행된 바 있다. Lim et al. (2002)은 친환경농산물 생산을 위한 중경제초기의 적정 사용시기와 잡

초방제효과, 사용연차별 잡초 군락 변화 및 문제점을 검토하기 위한 연구를 진행하였고, 논에서 중경제초를 1회 실시하는 경우 사용 시기에 따라 방제 효과가 50.7 ~ 64.6%, 2회 실시하는 경우 76.3%의 효과가 나타난다는 등의 결과를 얻었다. Won et al. (2008)은 동력제초기 처리회수를 늘릴수록 발생잡초 초종, 총발생본수, 건물중 등이 현저히 줄어들고, 노동력은 손 제초에 비해 90% 이상 노동시간이 절감된다는 것을 확인하였다. 또한 동력제초기의 투입시기가 늦어질수록 쌀 수량이 감소되는 경향이 있다는 결과를 얻었다.

중경제초기에서 제초날의 형상이나 잡초에 따라 그 효과가 달라질 수 있는데, Reddeix et al. (2001)은 세 가지 방식(tine, spoon, inter-row hoe)의 제초기와 네 종의 작물을 상호교차식으로 실험하여 작물 생육에 따른 각 제초기의 성능을 파악하였다. 이 연구에서는 작물의 생육 경향에 따라 나눠 평가하였는데, 생육이 왕성한 작물의 경우에는 잡초에 대한 경합력이 좋기 때문에 제초기의 효과가 미약하다고 하였다. 또한 잡초에 영향을 받지 않는 작물들은 제초기 사용으로 큰 효과는 볼 수 없다고 하였다. 콩을 대상으로 하는 경우에는 기계제초로 일부 작물이 손상을 받을 수도 있음에도 불구하고 수확량은 대조구에 비해 많았다는 결과를 얻었다. 이 연구를 통해 기계제초의 잡초 방제는 앞에서 확인한 바와 같이 경합에 의한 것이 크다는 것, 작물에 따라 잡초로부터 받는 영향이 다르다는 점 등을 알 수 있다. Kim et al. (2006)은 유기농 벼 생산 시 문제시 되는 잡초인 올방개의 방제에 중경제초기 이용가능성을 검토하여 실시하였는데, 이앙밀도와 제초횟수 등에 따라 그 결과를 검토하였다. 이는 중경제초기에 대한 연구를 대상 잡초를 특정하여서도 연구할 가치가 있다는 것을 보여주었다. Lee et al. (2007)은 논에서 사용하는 중경제초기를 개발하였고, 제초날 형상 및 전진속도별 제초효과와 포장 성능 시험 등을 진행하였다. 실험은 톱날형 A와 톱날형 B (Fig. 5)로 실험을 하였는데, 제초날 피치가 각각 15 mm, 30 mm이었고, 제초효과는 톱날형 A가 양호하다는 결론을 얻었다. 위 연구들은 중경제초기 연구가 제작과 활용에 관한 연구에 국한되지 않고, 제초날이나 잡초 종 등을 고려하여 더욱 심도 있는 연구가 가

능하다는 것을 보여주었다.

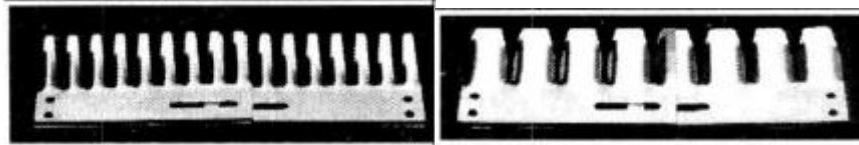


Fig. 5 Saw-type blade A (left) and B (right) (Lee et al., 2007)

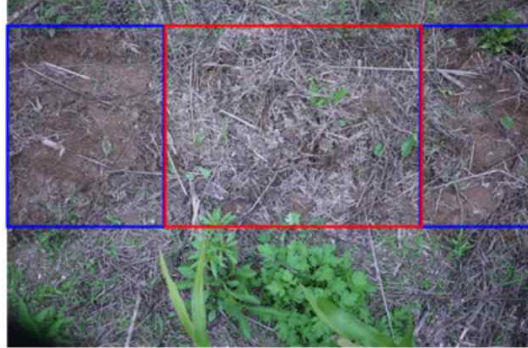
기계적 방제법 외에 다른 물리적 방제법을 활용한 연구도 일부 존재하였다. Kang et al. (1997)은 불꽃과 적외선을 이용한 잡초 방제에 관한 연구를 진행하였는데 LPG소모량이 100 kg/ha 이하에서는 불꽃 잡초방제기가, 100 kg/ha 이상에서는 적외선 잡초방제기가 더 큰 방제효과를 가진다는 결론을 내렸다. 또한 Kang and Moon (2001)은 석유불꽃을 이용하여, 물리적 잡초 방제 중 열을 이용한 연구의 가능성을 보여주었다. 또한 Kim et al. (1997)은 전기가 잡초의 잎이나 줄기를 절단하거나 종자를 발아하지 않는다는 점을 연구하여 전기를 이용한 물리적 방제가 가능하다는 것을 보여주었다. 하지만 기계적 방제법 이외에 비교적 최근에 관련된 연구가 지속되지 않는 것으로 보아 기계적 방제법에 비해 연구가 활발히 이루어지지 않는 것으로 보인다.

## 다. 유기농업을 위한 밭 전용 제초기 연구

농촌진흥청에서는 2010년에 밭에서 사용할 수 있는 전용제초기 2종을 개발하였다(Fig. 6). 수직축 회전식 제초기는 엔진의 동력을 받은 축이 회전을 하면서 제초를 하는 형태로 좁은 폭에서도 작업이 가능하지만, 잡초가 회전축에 말리는 문제가 있었다. 크랭크식 제초기는 호미로 제초하는 방식을 차용한 것으로 엔진의 동력이 크랭크 제초날과 바퀴에 전달된다. 구동륜이 존재하여 오르막길에서도 힘을 들이지 않고 운용할 수 있으나, 기어 박스나 체인 등 다양한 기계요소부품이 필요하여 중량이 무거운 단점이 있었다. 무거운 중량은 내리막길에서 불리하였는데 무게에 의한 슬립이 발생해 일부 구간에서 제초 작업을 하지 않고 미끄러진 부분이 있는 것으로 나타났다(Fig. 7).

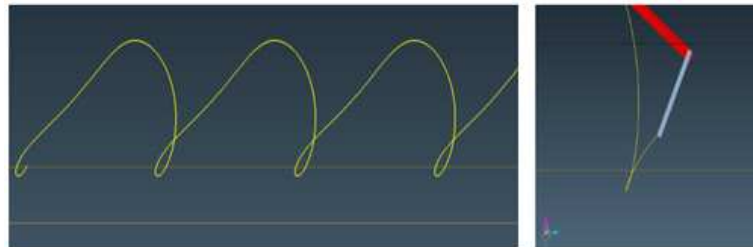


**Fig. 6** Horizontal shaft type weeder (left) and crank type weeder (right) developed by Rural Development Administration



**Fig. 7** Un-weeded region shown in the center square due to slippage of the crank type cultivator

또한, 크랭크식 제초기는 하향경운 방식으로 전진속도와 제초 성능이 서로 상충되는 문제가 있었는데, 0.4 m/s 이상의 속도에서는 제초에 필요한 경운 작업을 하지 못하고 지면에 침투하였다가 빠져나가는 현상을 보임으로써 제초 성능이 거의 나타나지 않는다는 점이 시뮬레이션을 통해 확인되었다(Fig. 8).



**Fig. 8** Trace of hoeing blade tip with forward speed 0.3 m/s (left) and 0.4 m/s (right)

실험 결과, 크랭크식 제초기는 전진속도가 0.11 m/s, 제초율은 60% 수준인 것으로 확인되었다. 제초성과 전진속도가 상충하는 이상, 더 좋은 더 빠른 전진속도와 더 높은 제초성을 동시에 갖기엔 어렵다. 따라서 가볍고 전진속도와 제초성의 상충이 존재하지 않는 로터리식 제초기가 실제 활용에 유리하다.

## 라. 보행형 관리기의 손 진동에 관한 연구

ISO 5349:1은 손으로 전달되는 반복적인 진동에 관한 측정과 평가지침을 제공하고 있다. 위 표준은 일반적으로 그라인더와 같은 공구에 관해 적용되며 관련 연구가 수행되어졌다. Hwang and Lee (2006)는 그라인더 사용으로 인한 백지증 유병율을 예측하기 위한 연구를 수행하였고, 손목자세와 그라인더를 쥐는 힘에 따라 유병율에 영향을 미친다는 것을 확인했다. Yim et al. (2002)은 조선소에서 사용하는 전동수공구의 진동을 ISO 5349:1에 따라 평가하고, 의학적 진단인 냉수 침지검사를 활용하여 이를 비교하였다. 기타 동일 표준을 활용하여 사용자 보건 중심의 연구가 많이 수행되었다(Kim et al., 1996; Kim et al., 2012c).

보행형 관리기의 경우, 앞의 공구와 마찬가지로 사용자가 지속적인 손 진동에 노출되는 문제가 있다(Ragni et al. 1999). 관리기의 진동은 엔진과 작업 시에 제초날과 포장의 충돌로 인해 발생하고, 발생한 진동은 관리기 프레임에 따라 사용자 손으로 전달된다. 이에 따라 농업용 관리기에서도 ISO 5349 표준에 따른 연구가 진행되어 왔다. Dewangan and Tewary (2009)는 보행형 관리기의 작업 모드에 따라 손 진동이 어떻게 달라지는지를 확인하였고, Noh and Park (2009)은 보행형 관리기의 진동을 ISO 표준과 미국 산업위생 전문가협회의 자료에 따라 분석한 바 있다. Park et al. (2004)는 운전 중 변형 형상 기법을 활용하여 핸들 진동을 감소시키고자 하였고, 이 연구에 이어서 Park et al. (2006)은 손잡이에 질량을 추가하여 핸들 진동을 줄이기 위한 연구를 하였다. 또한 Park and Kim (2002)은 보행형 관리기의 손 진동을 줄이기 위해 엔진 마운트에 방진 장치를 설치하는 등 다양한 방진 대책에 따른 진동 감소 효과를 확인하였다. Park and Kim (2002)에 따르면, 손잡이로 전달되는 진동은 엔진과 작업부에서 발생한다.

기존 연구들은 모두 엔진에서 발생하는 진동에 초점을 맞춰 손 진동을 평가하거나 방진 장치를 통해 진동을 감소시키는 연구가 주를 이루고 있고, 제초기에 있어서 진동원이 되는 작업부 구조를 변경하여 손 진동을 줄이고자 하는 연구는 미비하다.



## 마. 로터리식 경운날의 형상 연구

로터리 경운날은 크게 트랙터용 경운날, 경운기용 경운날로 나눌 수 있고 (Kim et al., 1997), 두 경운날은 형상과 치수의 차이가 있다(KS, 2012; KS, 2013). 일반적으로 트랙터용 경운날은 L형과 C형이 있으며, C형은 L형에 비해 동력 소모가 적고 토양 쇄토에 장점이 있지만, 풀이 감기는 단점이 있다(Jeong and Kim, 1997).

Beeny and Khoo (1970)는 3종의 경운날(Fig. 9)에 대한 실험을 수행하였는데, 본래 경운날의 목적인 토양을 분쇄하여 숙고, 농기계의 견인을 돕는 역할을 대상으로 분석하였다. 그 결과 I형이 소요동력은 가장 적지만, 미끄러져서 경운의 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. L형은 농기계에 가장 큰 추진력을 제공하면서 작업 효과도 컸다고 한다. 하지만 축에 걸리는 토크가 가장 심해 동력 소모가 가장 크다는 단점이 있는 것으로 나타났다.

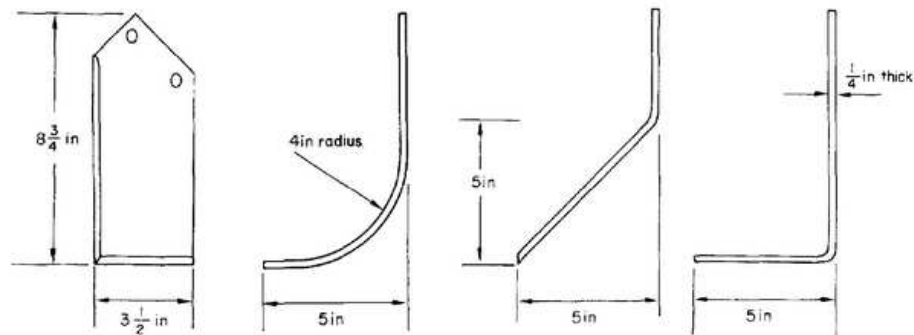
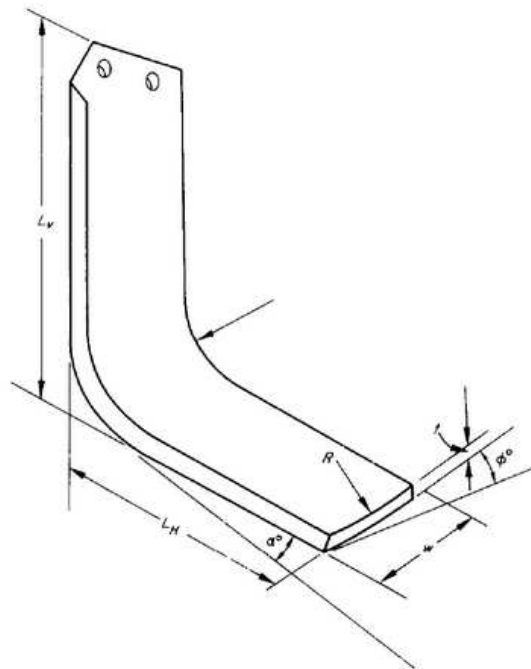


Fig. 9 Experimental blade shape (Beeny and Khoo, 1970)

Lee et al. (2003)은 로터리 날의 모양과 회전방향, 로터리 날의 수 등의 요인에 따라 경운 효과가 어떻게 달라지는지에 대한 실험을 하였다. 로터리 날은 기존에 생산되는 일반 트랙터용, 일반 경운기용, 논 평탄화 작업용, 세 종류로 비교 실험을 하였다. 이 중 트랙터용 로터리 날이 토양 분쇄율이 가장 낮고 축에 걸리는 토크가 가장 높다는 결과를 얻었으나, 형상에

대한 분석은 이루어지지 않았다. Kim et al. (1997)은 경운날을 개발하고 이를 기존에 생산되는 경운기용과 트랙터용 양산품과 경운부하 성능을 비교하였다. 또한 MAFRA (2002)는 에너지를 절감하기 위한 트랙터용 경운날에 관한 연구를 수행하는 등 경운날 연구는 부하와 에너지에 관한 것이 많음을 알 수 있다.



**Fig. 10** A typical rotary cultivator blade showing design parameters (Beeny and Khoo, 1970)

Beeny and Khoo (1970)에 따르면 경운날의 형상의 설계 요소는 총 8종으로 각 요소의 설계 방법에 따라 경운 효과가 다르게 나타난다고 하였다(Fig. 10).  $L_v$ 는 수직 길이로 경운 깊이에 관여하고,  $L_H$ 는 수평 길이로 경운 폭에 관여한다. 각도  $\alpha$ 는 경운날이 받는 비틀림 모멘트를 줄여주고,  $R$ 과 각도  $\phi$ 는 경운날이 흙을 누르는 것에 관여하며 동력을 줄일 수 있다고 한다.

이처럼 로터리식 제초날과 형태가 유사한 경운기의 경운날의 형상과 설계에 관한 연구는 주로 경운 작업 성능과 경운기에 제공하는 추진력에 관한 것이 많이 이루어졌다. 반면에 Beeny and Khoo (1970)은 경운날이 토양을 누르는 설계 인자를 제시하였지만, 동력 소모에 관한 것만을 언급하였다. 따라서 경운날이 토양의 반력을 받아 경운기 손잡이에 전달되는 진동에 관한 연구는 이루어지지 않았다.

### 3. 재료 및 방법

#### 가. 제초날 설계 파라미터

본 연구에서의 제초날도 기본적으로는 로터리 날과 같이 유사한 과정으로 동력을 전달받아 움직인다. 또한 본 제초날은 로터리 날과 같이 회전하는 디스크의 끝에 부착되어 움직일 수 있도록 설계하였다(Fig 11). 하나의 디스크에는 총 네 개의 제초날이 부착되어 있으며, 디스크별로 다양한 제초날 설치 각도( $\theta_{FM}$ )를 갖도록 하였다.  $\theta_{FM}$ 은 제초날 등과 디스크 접선이 이루는 각도로, 제초날을 설계할 때 다른 파라미터와 달리 비교적 쉽게 변경이 가능한 파라미터이다.

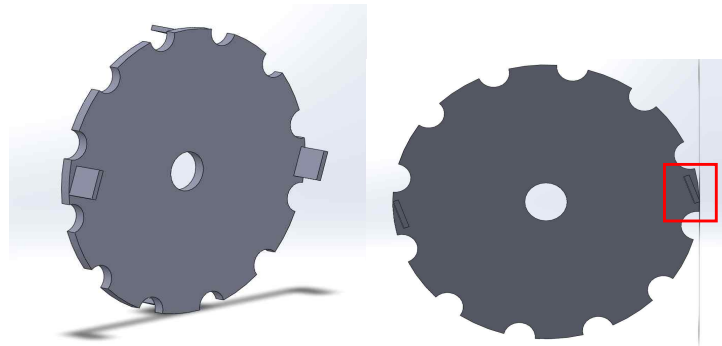
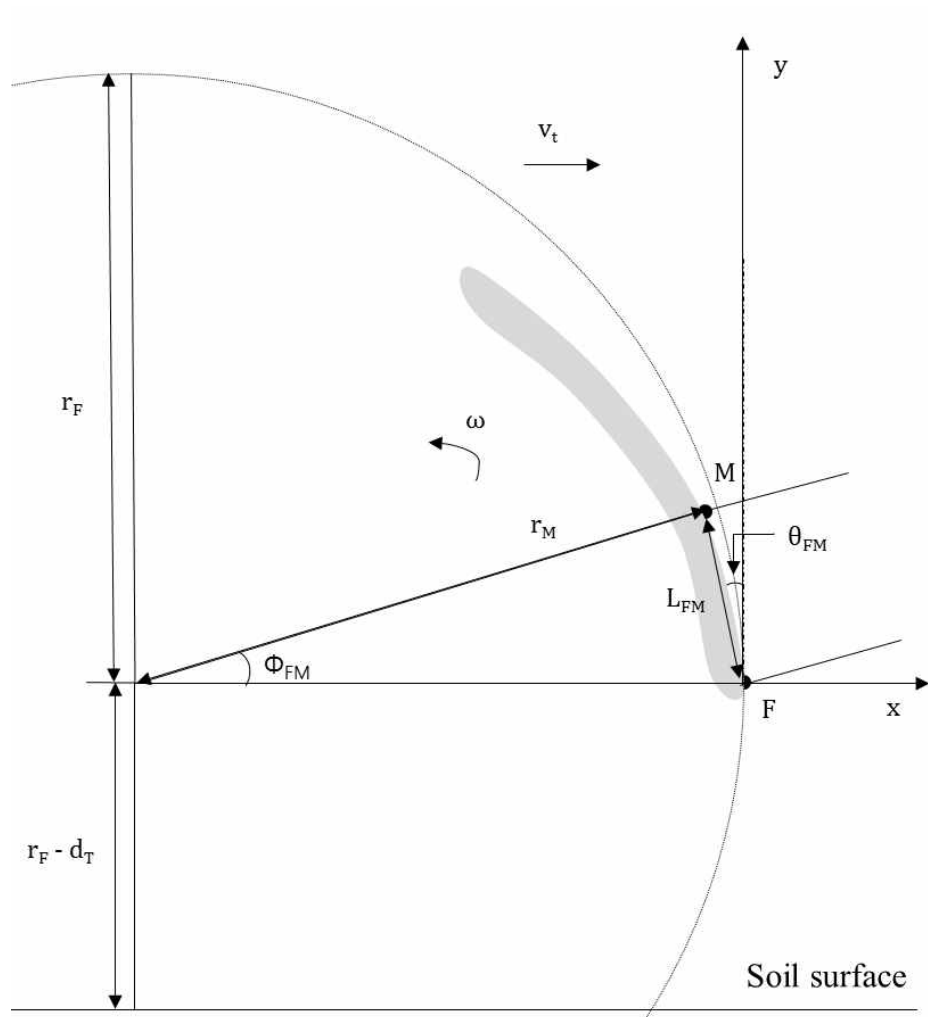


Fig. 11 Rotary weeding blade attached to disk

Fig. 11의 우측 그림을 중심으로 본 연구에서 정한 설계 파라미터는 Fig. 12와 같다. 제초날의 폭은 그 길이에 따라 모양으로부터 받는 반력이 달라질 수 있으나, 이는 디스크의 개수와 전체 제초 작업폭과 관련이 있으므로 본 연구의 파라미터로 고려하지 않았다.



**Fig. 12** Design and dynamic parameters on the rotary blade

$r_{F,M}$  : radius of the points denoted F and M (mm)

$L_{FM}$  : length of cutting part (mm)

$\theta_{FM}$  : installation angle ( $^{\circ}$ )

$\omega$  : angular velocity of disk (rpm)

$v_t$  : translational velocity (mm/s)

$d_T$  : target weeding depth (mm)

$\Phi_{FM}$  : initial angle of point M ( $^{\circ}$ )

설계 파라미터는 총 6개로 동역학적 파라미터 2개, 설계 파라미터 4개로 설정되었다. 동역학적 파라미터는 디스크의 각속도( $\omega$ ), 제초기의 전진속도( $v_t$ )이고, 설계 파라미터는 목표 제초 깊이( $d_T$ ), 작업부 길이( $L_{FM}$ ), 디스크 반경( $R_F$ ), 앞에서 언급한  $\theta_{FM}$ 이다.

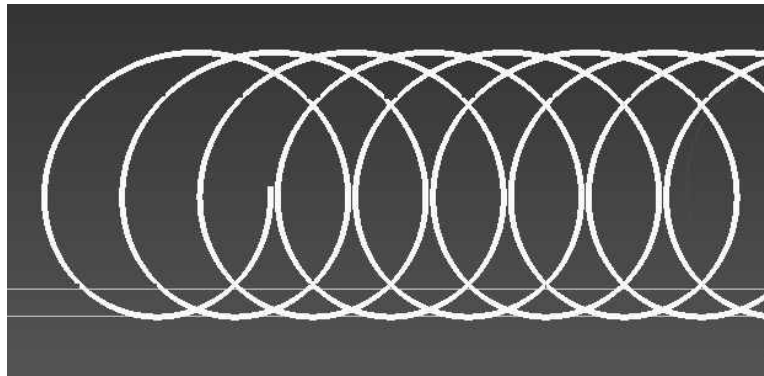


Fig. 13 Trochoid trace of point F on weeding blade

Fig. 13은 시뮬레이션 상에서 제초날의 선단 F의 궤적이고, 이는 트로코이드 곡선으로 그려진다. 트로코이드 곡선은 회전운동을 하는 디스크가 미끄러지면서 전진운동을 동시에 할 때 디스크 위의 임의의 점이 그리는 궤적으로, 회전운동을 하면서 미끄러지지 않고 굴러가는 디스크 위의 임의의 점이 그리는 사이클로이드 곡선과는 다르다. 본 연구의 보행형 로터리식 제초기는 로터리의 회전운동과 별개로 작업자가 보행하면서 핸들을 통해 전진속도를 제어한다. 따라서 디스크 위의 한 점의 궤적은 식 (1)과 같은 트로코이드 곡선이 된다.

$$x(t) = R\cos\omega t + v_t t, \quad y(t) = R\sin\omega t \dots\dots\dots (1)$$

where,  $x(t), y(t)$ : x or y-coordinate of point  
 $R$  : rotation radius (m)  
 $\omega$  : rotational velocity (rad/s)  
 $v_t$  : translational velocity (m/s)  
 $t$  : time (s)

## 나. 진동 실험

본 실험은 다양한 설치각도를 가진 제초날과 디스크를 제작하여 앞에서 이론으로 도출한 결과를 실제 실험을 통해 검증하기 위한 것이다. 상방향 반력 발생에 관계되는 제초날의 6개의 파라미터 중, 2개의 파라미터(설치각도, 전진속도)를 변수로 하고 나머지 4개의 파라미터는 상수로 두었다. 상방향 반력을 감소시키는 효과는 손잡이로 전달되는 진동을 측정하여 평가하였다. 일반적으로 손잡이로 전달되는 진동의 진동원은 크게 엔진과 작업부로 구분된다(Park et al., 2004). 따라서 작업부에서 발생하는 반력은 손잡이에 전달되는 진동에 영향을 미칠 것으로 보인다. 또한 손잡이로 전달되는 진동을 측정하는 방법은 ISO 5349:1을 따랐다.

기타 자세한 실험 재료나 방법은 이하와 같다.

### 1) 제초날과 보행형 제초기

제초기의 날은 설치각도를 달리하여 총 3종으로 제작하였다. 제초날이 부착되는 디스크의 반경은 145 mm, 길이는 10 mm로 제작하였다. 제초날의 설치각도는 각각 0, 4, 8° 로 제작하였고, 한 디스크에 네 개의 제초날이 부착되었다. 제초날이 부착된 디스크의 모습은 Fig. 14와 같다.



Fig. 14 Rotary disk and weeding blade assembly, side view (right) and front view (left)

제조날 실험을 위해 제작한 제조날은 보행형 관리기인 KT-400 (Kawashima, Japan)에 부착하였다. 관리기의 엔진은 TB43 (Mitsubishi, Japan) 제품으로 2행정 단기통 엔진이다. 엔진을 포함한 관리기의 주요 제원은 Table 1과 같다.

**Table 1** Specification of KT-400 weeding cultivator

Item	Content
Model	Kawashima KT-400
Size	100 x 47 x 97 cm (LxWxH)
Weight	10.3 kg
Engine	Mitsubishi TB 43 (1.25 kW), 9,000 rpm Air-cooled, 2-cycle, gasoline engine 42.7 cc of displacement

보행형 관리기에는 총 4개의 디스크가 부착된다. 작업 너비는 300 mm로 국내 밭에 적용하기에 용이하다. 디스크가 부착된 모습은 Fig. 15와 같다.



**Fig. 15** View of test weeding cultivator



## 2) 실험 장소 및 조건

제초날의 진동 측정 실험은 수원 소재의 서울대학교 부속 농장에서 실시하였다(Fig. 16). 실험을 진행한 논은 수확 후에 그루터기만 남아있는 곳으로 실험 오류를 줄이기 위해 그루터기 사이에서 진행하였다.



Fig. 16 Test site for hand vibration measurement

토양 경도계(Spectrum Technologies Inc., USA)로 측정한 시험 포장의 토양 경도는 954.6 kPa로, 건량 함수율은 27.8%로 나타났다. 토성은 National Instrumentation Center for Environmental Management (NICEM)에 의뢰하여 미농무성 기준(UADA, 2013)에 따라 분석한 결과 Table 2에 나타낸 것과 같이 미사질 양토였다.

Table 2 Soil texture of test site for hand vibration measurement

Sample	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil Texture
1	27.06	67.49	5.45	Silt Loam
2	23.25	71.32	5.43	Silt Loam
3	36.92	59.18	3.90	Silt Loam
4	22.68	72.32	5.00	Silt Loam
5	33.30	62.22	4.48	Silt Loam

### 3) 실험 방법

본 실험에서는 2개의 변수 파라미터인 설치각도와 전진속도를 달리하며 실험하였다. 설치각도는 총 세 가지이고 각 실험마다 동등하게 설정할 수 있다. 전진속도는 15 m의 동일한 거리를 일반 초시계로 소요시간을 산정하여 속력을 구하였다. 제초날의 길이(10 mm)나 디스크 반경(145 mm)은 정해진 요소이기 때문에 실험마다 동일하다. 디스크 회전 속도는 350 rpm으로 하였으며, 실험 전 촬영한 동영상의 프레임을 분석하여 산정하였다. 실험 시에는 동영상 촬영 시와 같은 디스크 회전속도를 갖도록 엑셀레이터를 동일한 위치로 설정하였다. 시험구 배치는 Fig. 17과 같다.

<b>8S</b>	<b>4S</b>	<b>0S</b>
<b>0S</b>	<b>8S</b>	<b>4S</b>
<b>4S</b>	<b>0S</b>	<b>8S</b>
<b>0M</b>	<b>8M</b>	<b>4M</b>
<b>4M</b>	<b>0M</b>	<b>8M</b>
<b>8M</b>	<b>4M</b>	<b>0M</b>
<b>4F</b>	<b>0M</b>	<b>8F</b>
<b>8F</b>	<b>4F</b>	<b>0M</b>
<b>0M</b>	<b>8F</b>	<b>4F</b>

**Fig. 17** Experimental plot design for hand vibration experiment  
(installation angle: 0, 4, 8° , speed: Slow, Medium, Fast)

#### 4) 진동 측정 장비

본 연구에서는 3축 가속도계인 3273A1T (Dytran Instruments Inc., USA)를 트랜스듀서로 활용하였다(Fig. 18). 해당 가속도계는 축별로 받은 가속도를 읽어 일정 전압 값으로 출력하며, 축당 출력 전압은 x축 10.35 mV/g, y축 9.94 mV/g, z축 10.25 mV/g이다. 해당 값은 프로그램 상에 상수로 입력되어 프로그램에서는  $m/s^2$ 의 단위로 출력되도록 하였다.



Fig. 18 Tri-axial accelerometer, 3273A1T (Dytran, 2013)

아날로그 신호를 받아 디지털 신호로 변환하고 다양한 신호처리를 하는 데이터 수집 장비는 NI 9234 모듈(National Instruments, USA)을 활용하였다(Fig. 19). 이 모듈은 새시(NI cDAQ-9178)와 함께 작동하며, 해당 신호를 USB를 통해 노트북으로 전달하는 역할을 한다. NI 9234 모듈의 자세한 사양은 Table 3과 같다.

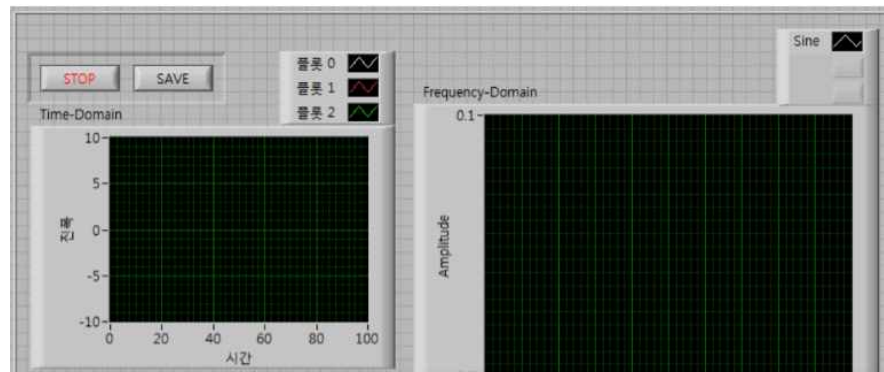


Fig. 19 NI 9234 data acquisition module (NI, 2013)

**Table 3** Specifications of data acquisition module for hand vibration measurement (NI, 2013)

Parameter	Content
Model	NI 9234 Compact DAQ
Channel	4
Sample rate	51.2 kS/S
Analog input range	-5 ~ 5 V
Measurement type	Accelerometer, Microphone

측정 프로그램은 LabVIEW 2009 (National Instruments, USA)를 활용하여 개발하였다(Fig. 20). 프로그램은 데이터 수집 장비에서 보낸 데이터를 시간-가속도 차트로 보여주고, 고속 푸리에 변환을 통해 주파수-가속도로 변환, 차트를 보여주고 해당 정보를 파일 형태로 저장한다.



**Fig. 20** Measurement program based on LabVIEW 2009

5) 진동 측정 방법 및 데이터 처리과정 (ISO 5349:1)

ISO 5349:1는 손잡이로 전달되는 손 진동을 측정하고 데이터를 처리하는 방법에 대한 내용을 제공하는데 이 표준에는 2가지 형태의 손잡이가 제시되어있다. 보행형 제초기의 핸들은 Fig. 21과 같은 “Handgrip” 형태이다. 가속도계는 Fig. 21과 같은 좌표로 진동이 측정되도록 접착제를 이용하여 손가락 사이에 위치하도록 Fig. 22와 같이 핸들에 부착하였다.

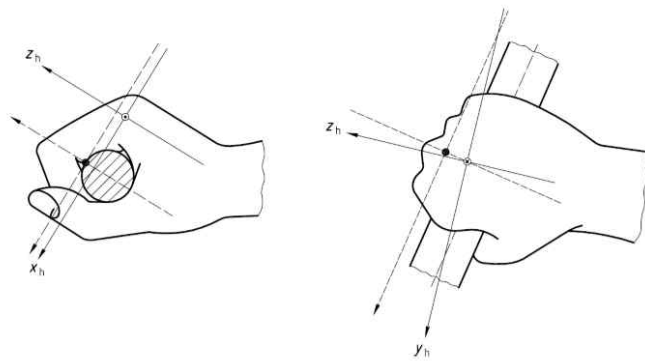


Fig. 21 Coordinate system of “Handgrip” position (ISO, 2001)



Fig. 22 Accelerometer attached to handle

실험은 각 시험구별로 15초 이상 진행되었으며, 모든 시험구의 조건을 동등하게 중간 부분의 15초의 데이터만을 활용하였다. 1초의 데이터는 하나의 스펙트럼 형태로 주어진다. 각 실험별 총 20개의 데이터를 스펙트럼별로 평균하여 하나의 스펙트럼을 구하고, 그 중 표준에 맞게 6.3 ~ 1,250 Hz의 스펙트럼을 1/3 옥타브 밴드로 나눠 24개의 주파수와 그에 해당하는 가속도 값을 구하였다. 주파수별로 인체에 미치는 영향이 다르므로, 각 주파수별 가속도는 식 (2)와 같이 특정 가중치를 곱하여 구하였다.

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (W_{hi} a_{hi})^2} \dots\dots\dots (2)$$

where,  $a_{hw}$  : root-mean-square (r.m.s.) single-axis acceleration value of the frequency-weighted hand-transmitted vibration ( $m/s^2$ )  
 $W_{hi}$  : weighting factor for  $i$  th 1/3 octave band  
 $a_{hi}$  : rms acceleration measured in  $i$  th 1/3 octave band ( $m/s^2$ )

주파수 가중치는 ISO 5349:1에서 제공하고 있으며, 각 주파수별로 최대 0.958에서 최소 0.00295의 상수로 이루어져 있다. 12.5Hz에서 최대 가중치로 나타나고 고주파일수록 그 가중치가 작아진다. 실험구의 주파수 가중 가속도인  $a_{hv}$ 는 식 (3)과 같이 구한다.

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hw,x}^2 + a_{hw,y}^2 + a_{hw,z}^2} \dots\dots\dots (3)$$

where,  $a_{hv}$  : vibration total value of frequency-weighted r.m.s. acceleration ( $m/s^2$ )  
 $a_{hw,x}, a_{hw,y}, a_{hw,z}$  : values of  $a_{hw}$  for the axes denoted x, y and z respectively ( $m/s^2$ )

주파수 가중 가속도를 활용하여 1일 진동 노출량인  $A(8)$ 을 구할 수 있는데, 1일 진동 노출량은 하루 8시간 사용을 기준으로 하여 다음 식으로 구한다.

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \dots\dots\dots (4)$$

where,  $A(8)$  : the daily vibration exposure ( $m/s^2$ )  
 $a_{hv}$  : vibration total value of frequency-weighted r.m.s. acceleration ( $m/s^2$ )  
 $T$  : the total daily duration of exposure to the vibration  
 $a_{hv}$   
 $T_0$  : the reference duration of 8h (28,800 sec)

평균 진동 노출기간( $D_y$ )은 해당 기계를 사용하는 사람의 10%가 수지백 중에 걸릴 때까지의 기간을 의미한다. 이는 식 (5)와 같이 1일 진동 노출량을 통해 구한다.

$$D_y = 31.8 [A(8)]^{-1.06} \dots\dots\dots (5)$$

where,  $A(8)$  : the daily vibration exposure ( $m/s^2$ )  
 $D_y$  : the group mean total (lifetime) exposure duration (year)

#### 6) 데이터 분석

앞의 이론에서의 상방향 반력 발생 조건과 본 실험에서의 실제 주파수 가중 가속도를 비교하였다. 통계처리는 R 3.0.1 (R Foundation for Statistical Computing, Austria)을 활용하였고, T검정을 수행하였다. 또한 평균 진동 노출시간을 두 그룹별로 비교하여 기간이 얼마나 증가하였는지 확인하였다.



## 다. 제초 성능 실험

제초 성능은 제초기의 가장 중요한 성능으로 제초율을 기준으로 평가한다. 제초 성능 실험은 농촌진흥청의 동력 중경제초기 시험 방법과 검사 기준(RDA, 2004)에 준하여 실시하였으며, 제초율은 본수조사로 하였다.

### 1) 실험 장비 및 포장 정보

실험 장비는 앞의 제초날 평가 실험에 사용한 것과 동일한 구조로서 제초날의 설치각도는 가장 반력이 적은 8° 로 고정하여 사용하였다. 포장은 경북 영주시에 있는 밭에서 수행하였으며 토양 경도는 약 1,150 kPa로 나타났고 토성은 미농무성 기준(USDA, 2013)에 따라 미사질 양토에서 사양토 인 것으로 나타났고(Table 4), 건량 기준 함수율은 14%였다.

**Table 4** Soil texture of test site for weeding performance evaluation

Furrow	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil Texture
1	61.40	36.41	2.19	Sandy Loam
2	44.41	52.87	2.72	Silt Loam
3	44.95	52.63	2.42	Silt Loam
4	57.05	41.06	1.89	Sandy Loam
5	40.38	57.24	2.38	Silt Loam

## 2) 실험 방법

실험은 포장의 5고랑을 선정하여 실험하였고, 고랑별 10개 시험구, 총 50개 시험구를 대상으로 하였다(Fig. 23).

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10

Fig. 23 Experimental design of field test for weeding performance

시험구 크기는 400 x 300 mm로 하였고, 우드락 재질의 시험구 틀을 제작, 이를 기준으로 시험구 내의 잡초의 본수를 세었다. 제초 작업 후 같은 방법으로 해당 시험구 내의 잡초의 본수를 세어 식 (6)와 같이 제초율을 산정하였고 평균 제초율을 계산하였다.

$$Weeding\ Ratio\ (\%) = \left(1 - \frac{W_{after\ cultivating}}{W_{before\ cultivating}}\right) \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

RDA (2004)에 따르면, 제초율은 80% 이상이 되어야 하므로, 평균 제초율을 산정하여 본 제초날이 이를 만족하는지 확인하였다.

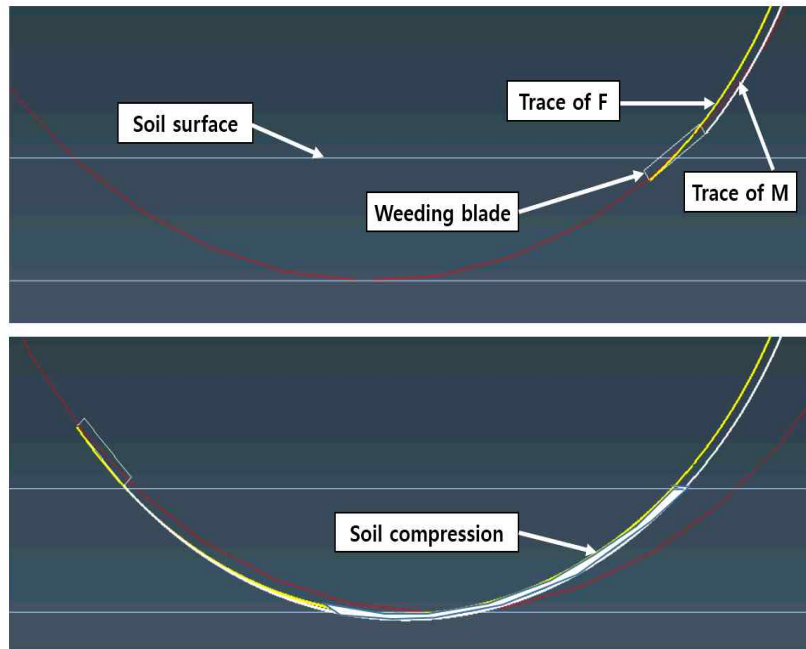
## 4. 결과 및 고찰

### 가. 제초날 설계 방안

본 연구에서는 제초날의 설치각도에 따라 토양 표면을 절삭하고 들어가는 양상과 반력 여부를 판단하기 위해 동역학 해석 프로그램인 RecurDyn V7R5 (Function Bays, Inc., Korea)을 활용하여 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션은 실제 디스크와 제초날의 크기를 적용하여 모델을 만들고, 제초 깊이를 30 mm로 하였다. 디스크의 회전속도와 전진속도를 부여하고, 디스크에 부착된 제초날의 F와 M의 궤적을 확인할 수 있도록 하였다.

Fig. 24는 디스크 반경이 145 mm, 제초 깊이는 30 mm이고, 전진속도 0.4 m/s, 디스크 회전속도 350 rpm에서 제초날의 설치 각도가 0° 일 때와 같은 조건에서 설치 각도가 15° 일 때의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 토양 안에서 제초날이 지나가는 궤적이 나타나 있는데, M의 궤적이 F의 궤적보다 전진 방향에 있는 경우, 토양 표면 아래에서 궤적 역전이 생기는 것을 알 수 있다. 두 점의 초기 y좌표가 다르기 때문에, 동일한 y좌표에 닿는 시간이 달라지고, 그 시간만큼 디스크의 전진속도에 영향을 받아 같은 y좌표에서의 두 점의 x좌표는 토양에 들어갈 때와 나올 때 달라진다.

시뮬레이션을 통해 확인한 결과, 제초날이 토양 표면에 진입할 때의 M의 궤적이 F의 궤적보다 전진방향에 있는 경우, 토양 내부에서는 두 궤적이 교차하는 것을 알 수 있었다. 반대로 M의 궤적이 F의 궤적보다 전진방향의 반대쪽에 있는 경우, 토양 내부에서 궤적 교차가 일어나지 않으며 M의 궤적은 F의 궤적 안쪽에 위치하여 경운토양을 지나가는 것을 알 수 있다. 토양 내부에서 두 궤적이 교차하는 경우, 제초날의 등이 미경토를 눌러 상방향 반력을 발생시킨다. 이는 Beeny and Khoo (1970)의 연구와 유사하나, 본 연구에서는 앞의 연구에서 제시한 2개의 파라미터 외에 전진속도, 디스크 회전속도, 제초 깊이, 디스크 반경을 추가로 고려하였다.



(a) Installation angle:  $0^\circ$

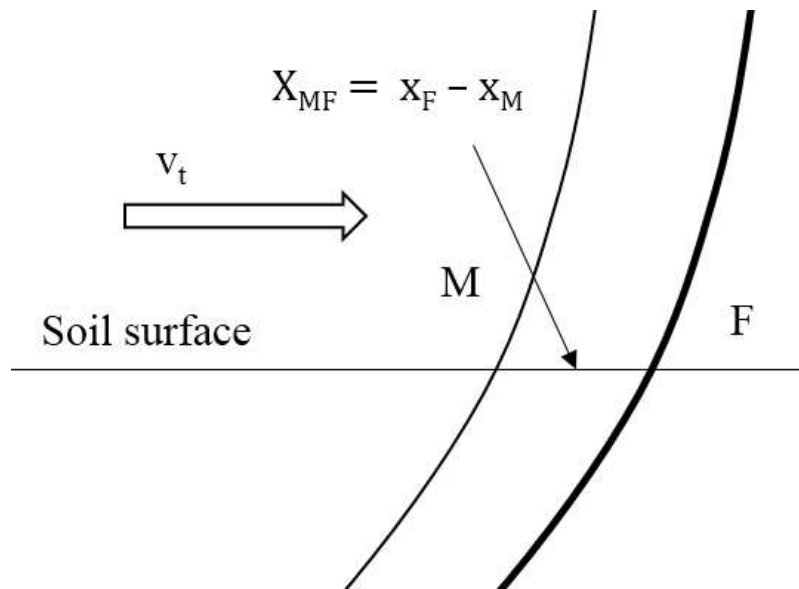


(b) Installation angle:  $15^\circ$

**Fig. 24** Simulation result when translational velocity was 0.4 m/s, disk angular velocity was 350 rpm, weeding depth was 30 mm and disk radius was 145 mm

본 시뮬레이션을 통해 제초날의 반력 발생은 제초날이 토양 표면에 진입할 때 두 궤적의 상대적인 위치에 따라 확인할 수 있다는 것을 알았다. 따라서 F의 궤적을 M의 궤적보다 전진방향 쪽으로 오도록 하면, 제초날 등이 미경토를 눌러 발생하는 불필요한 상방향 반력 발생을 방지할 수 있을 것으로 보인다.

Fig. 25는 Fig. 12에서 정의한 점 F와 M의 궤적과 토양 표면을 보여준다. 제초날 상의 두 점이 토양 표면에 닿을 때의 상대적인 위치를 나타내는 지수를  $X_{MF}$ 라고 하였으며 설명의 편리성을 위하여 제초날 표면의 두 궤적간 거리라고 칭하였다.  $X_{MF}$ 가 0보다 작은 경우 M의 궤적이 F의 궤적보다 전진방향에 있고, 이 경우 제초날 등이 미경토를 눌러 불필요한 발생을 발생시킨다.



**Fig. 25** Trace of two points F and M on a blade

$X_{MF}$  : Trace gap between F and M on soil surface

F와 M의 궤적은 식 (1)을 토대로 시간에 대한 함수로 나타낼 수 있다.  $X_{MF}$ 가 발생하는 첫 번째 이유는 두 점의 회전 반경이 다르기 때문이다. 따라서 M의 회전반경이 F에 비해 작을수록, 즉 설치각도가 클수록 M의 궤적이 F의 궤적보다 상대적으로 진행방향의 뒤쪽에 위치할 수 있다. 두 번째 이유는 M이 F에 비해 M의 초기위치 각도인  $\Phi_{FM}$ 만큼 더 움직여야 토양 표면에 닿기 때문이다. 그렇기 때문에, 회전 반경이 디스크의 각속도가 클수록, 전진속도가 작을수록 M의 궤적이 F의 궤적보다 상대적으로 진행방향의 뒤쪽에 위치할 수 있다. M의 반경( $r_M$ )과  $\Phi_{FM}$ 은 기본 설계 파라미터로 표현할 수 있고, 식 (7), 식 (8)과 같다.

$$r_M = \sqrt{L_{MR}^2 + r_R^2 - 2L_{MR}r_R \sin\theta_{MR}} \dots\dots\dots (7)$$

$$\Phi_{FM} = \sin^{-1} \frac{L_{FM} \cos\theta_{FM}}{r_M} \dots\dots\dots (8)$$

where, All variables are shown Fig. 12

F와 M이 토양 표면에 닿을 때 걸리는 시간은 디스크 반경, 초기 위치 각, 디스크 각속도, 제초 깊이에 따라 달라지며, 각각 식 (9), 식 (10)로 구한다.

$$t_F = \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{d_T - r_F}{r_F}\right) \omega^{-1} \dots\dots\dots (9)$$

$$t_M = \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{d_T - r_F}{r_M} - \Phi_{FM}\right) \omega^{-1} \dots\dots\dots (10)$$

where,  $t_F$  : time when point A reach soil surface (s)

$t_M$  : time when point B reach soil surface (s)

The other variables are shown equation (7), equation (8) and Fig. 12

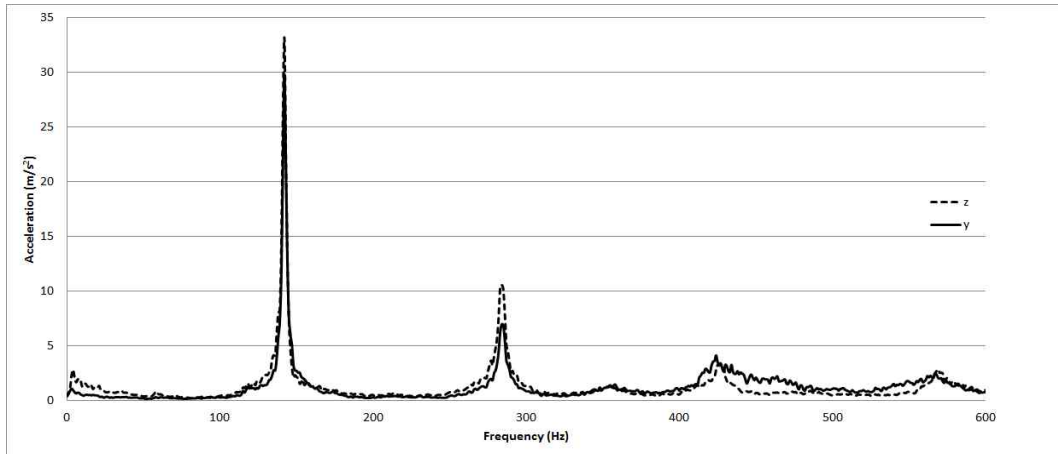
식 (9)와 (10)에서 구해진 시간을 식 (1)에 대입하면,  $X_{MF}$ 를 구하는 식 (11)이 유도된다.

$$X_{MF} = r_F \cos(\omega t_F) + v_t t_F - r_M \cos\left(\omega\left(t_M + \frac{\Phi_{FM}}{\omega}\right)\right) + v_t t_M \dots \dots \dots (11)$$

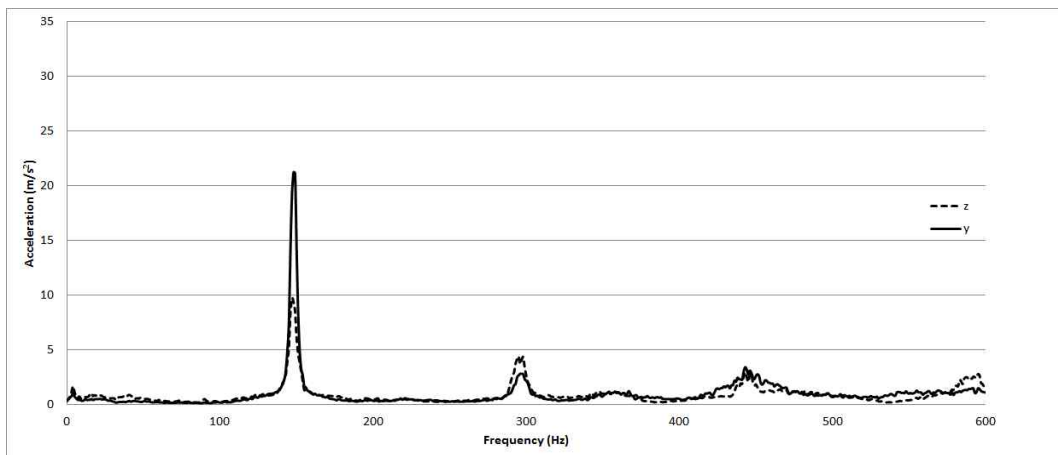
where,  $t_F$  : time when point A reach soil surface (s)  
 $t_M$  : time when point B reach soil surface (s)  
 The other variables are shown equation (7), equation (8) and Fig. 12

## 나. 진동 실험

### 1) 진동 스펙트럼



(a) Negative group ( $X_{MF} < 0$ )



(b) Positive group ( $X_{MF} > 0$ )

Fig. 26 Hand vibration spectrums in the y and z axis

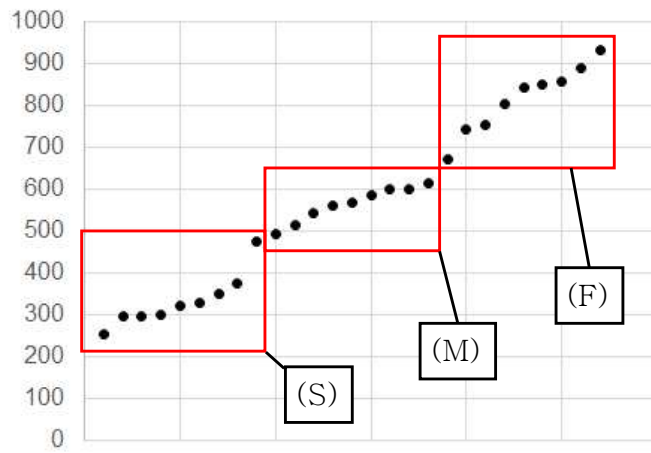


$X_{MF}$ 가 0보다 작을 때와 클 때의 진동 스펙트럼의 예를 Fig. 26에 비교하였다. 진동 성분 중 x축 성분은 진동이 거의 0으로 나타나 표시하지 않았다. y축과 z축을 비교한 결과  $X_{MF}$ 가 0보다 작은 경우에 두 축 모두 진동이 크게 나타난 것을 확인하였다. z축의 경우, 같은 조건에서 y축보다 진동이 더 크게 나타난 것을 알 수 있는데, 이는 y축의 진행방향의 좌우 진동보다 z축은 제초기의 수직방향 진동이 더 크게 나타난 것을 알 수 있다. 따라서 상방향의 반력을 감소시키면 제초기의 손잡이에서 전달되는 진동을 줄일 수 있음을 Fig. 26은 나타낸다.

## 2) $X_{MF}$ 계산

제초기가 15m 거리를 작업할 때 걸린 시간은 Fig. 27에 나타낸 바와 같이 “빠른” 속도에서 16.1 ~ 22.4 s, “중간” 속도에서 24.4 ~ 30.4 s, “느린” 속도에서 31.7 ~ 59.5 s로 나타났다. “빠른” 속도에서 최대 소요 시간과 “중간” 속도에서의 최소 소요 시간은 2 s, “중간” 속도에서의 최대 소요 시간과 “느린” 속도에서의 최소 소요 시간은 1.3 s로 나타났는데, 이는 같은 종류 속도 내에서 최대 소요 시간과 최소 소요 시간의 차이 (“빠른” 속도: 6.3 s, “중간” 속도: 6 s, “느린” 속도: 27.8 s)보다 작다. 따라서 속도 타입과 시험구 배치에 따른 해석이 불가하여 각 시험구별로  $X_{MF}$ 와  $a_{hv}$ 를 직접 비교하였다.

각 실험에 따른 각도와 소요 시간에 따른 전진속도를 바탕으로 구한  $X_{MF}$ 는 Table 5과 같다. 여기서 디스크 회전속도는 350 rpm, 제초날 두 점의 사이 거리는 10 mm, 디스크 반경은 145 mm로 하였다. 제초 깊이는 포장의 상태와 제초 깊이를 조절하는 별도의 수단이 없었기 때문에 농촌진흥청에서 제시하는 제초 깊이인 30 mm로 할 수 없었다. 본 실험은 진동실험이기 때문에 제초 깊이를 반드시 30 mm로 하지 않아도 된다고 판단하고, 실험 후 실제 측정된 깊이 10 mm를 계산에 활용하였다. 설치각도가 크고, 전진속도가 작은 경우  $X_{MF}$ 가 작는데, Asl and Singh (2009)의 연구와 Dewangan and Tewary (2009)의 연구에서도 유사한 결과가 나타났다.



**Fig. 27** Speed of cultivator with three kinds of speed  
 (S: Slow speed, M: Medium speed, F: Fast speed)

**Table 5** Result of calculation  $X_{MF}$  with six factors

Installation angle (°)	Forward velocity (mm/s)	$X_{MF}$ (mm)
0	328.95	-1.5948
	300	-1.5369
	321.89	-1.5807
	493.42	-1.9239
	515.46	-1.9679
	568.18	-2.0734
	669.64	-2.2764
	753.77	-2.4448
	742.57	-2.4223
4	375.94	0.0745
	351.29	0.1336
	473.19	-0.1586
	597.61	-0.4568
	614.75	-0.4979
	600	-0.4625
	847.46	-1.0557
	842.7	-1.0443
	802.14	-0.9470
8	252.1	2.2454
	297.62	2.1180
	295.28	2.1246
	543.48	1.4298
	559.7	1.3844
	583.66	1.3174
	857.14	0.5519
	887.57	0.4667
	931.68	0.3432

### 3) $X_{MF}$ 와 $a_{hv}$ 의 관계

실험을 통해 구한 주파수 가중 가속도를  $X_{MF}$ 의 부호에 따라 2개의 그룹으로 분류하였고, 오차를 보정하기 위해 10 ~ 90%의 백분위에 해당하는 데이터만 활용하였다(Fig. 28).

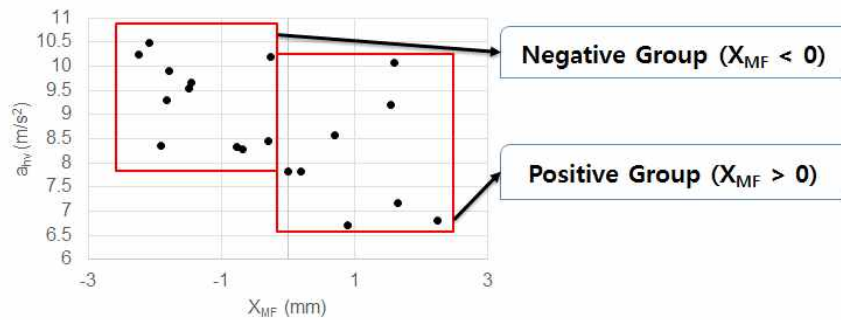


Fig. 28 Result of  $X_{MF}$  and  $a_{hv}$

$X_{MF}$ 가 0보다 큰 경우에 다른 데이터들보다 비교적 가속도가 높게 나온 2개의 시험구가 존재하였다. 이를 이상치로 가정하는 경우, 두 그룹의 통계적 차이는 매우 높게 나타났다( $p < 0.001$ ). 하지만 이상치로 가정한 두 개의 시험구의 원 데이터를 분석해본 결과, 다른 시험구와 특별한 차이점을 발견하지 못하였다. 따라서 해당 두 개의 시험구는 이상치로 추정 가능하지만, 명확한 근거가 부족하기 때문에 이상치로 단정할 순 없었다.

이상치로 추정되는 시험구를 포함한 두 그룹의 T검정 결과, 두 그룹은 통계적인 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). 이를 통해  $X_{MF}$ 의 부호에 따라  $a_{hv}$ 가 달라질 수 있다는 것을 추정할 수 있다.

4)  $D_y$  비교

평균 진동 노출 기간( $D_y$ )를  $X_{MF}$ 에 따라 비교해보았다(Table 6). 그 결과,  $X_{MF}$ 의 부호에 따라  $D_y$ 가 17.53% 증가한 것을 알 수 있었다. 이를 통해 제초날의 설치 각도에 따라 불필요한 상방향 반력이 발생하지 않는 경우에도 효과적으로 진동을 감소시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

**Table 6** The group mean total (lifetime) exposure duration depended on  $X_{MF}$  and daily using time (negative group:  $X_{MF} < 0$ , positive group:  $X_{MF} > 0$ )

daily using time (hour)	negative group (year)	positive group (year)
1	8.96	10.5
2	6.21	7.3
3	5.01	5.89
4	4.3	5.05
5	3.82	4.49
6	3.47	4.08
7	3.2	3.76
8	2.98	3.5

## 다. 제초 성능 실험

앞에서 도출된 이론과 실험을 통해 설치 각도가 커질수록 불필요한 토양 반력을 적게 받을 수 있는 가능성이 높은 것을 확인하였다. 따라서 제작한 제초날 중 가장 큰 설치 각도를 가진 8° 제초날로 실험을 하였다. 제초 작업 후, 토양에 파묻히거나 뿌리가 절단 혹은 토양 위로 노출된 잡초는 제초된 것으로 판단하였고, 이는 Kim and Kim (2007a)의 연구에도 동일한 조건으로 평가한 바 있다. 제초 성능 실험 결과 제초율은 평균 88.93% ( $\pm 5.75$ )로 나타났고, 이는 농촌진흥청의 동력 중경제초기 검사 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 시험구별 제초율 결과는 Table 7과 같고, 제초 전후 모습의 일부는 Fig. 29와 같다.

**Table 7** Result of weeding performance experiment (%)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	95.24	92.16	96.61	89.29	94.87	78.43	88.71	86.84	86.89	84.44
2	84.72	85.29	94.12	80.95	94.44	92.31	93.48	96.72	97.44	88.10
3	84.09	93.33	98.25	89.86	95.24	91.04	94.23	91.49	93.24	88.89
4	77.42	72.22	91.18	83.91	90.14	85.71	88.46	84.78	81.71	91.11
5	89.33	90.54	92.96	95.59	79.03	82.09	84.21	85.71	93.18	86.54

※ Row is furrow and column is experimental spot of each furrow

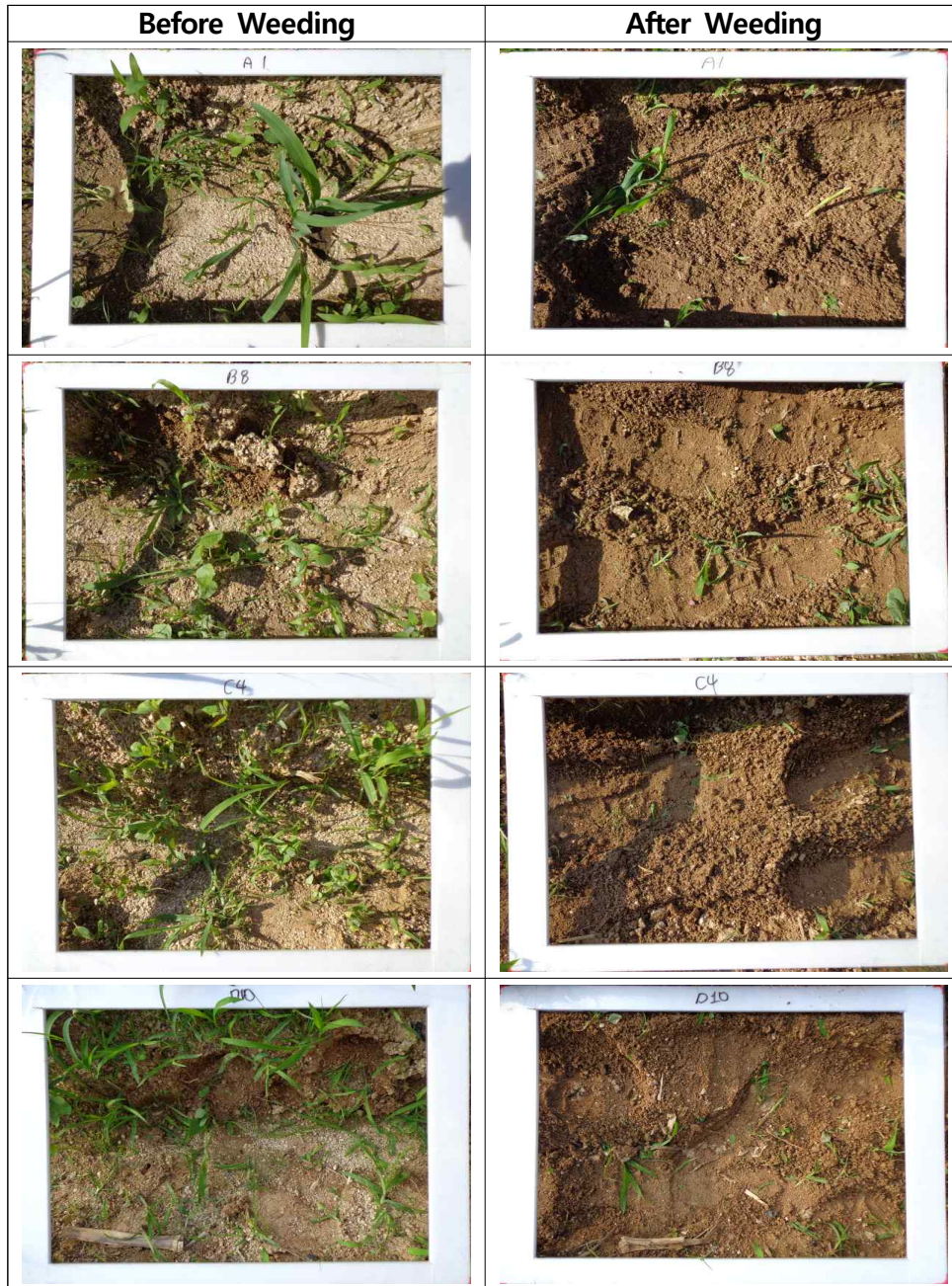


Fig. 29 View of test site, before and after weeding



## 라. 최소 설치각도 제안

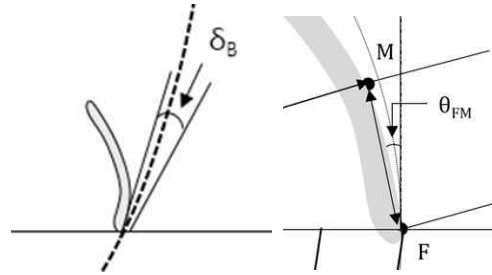


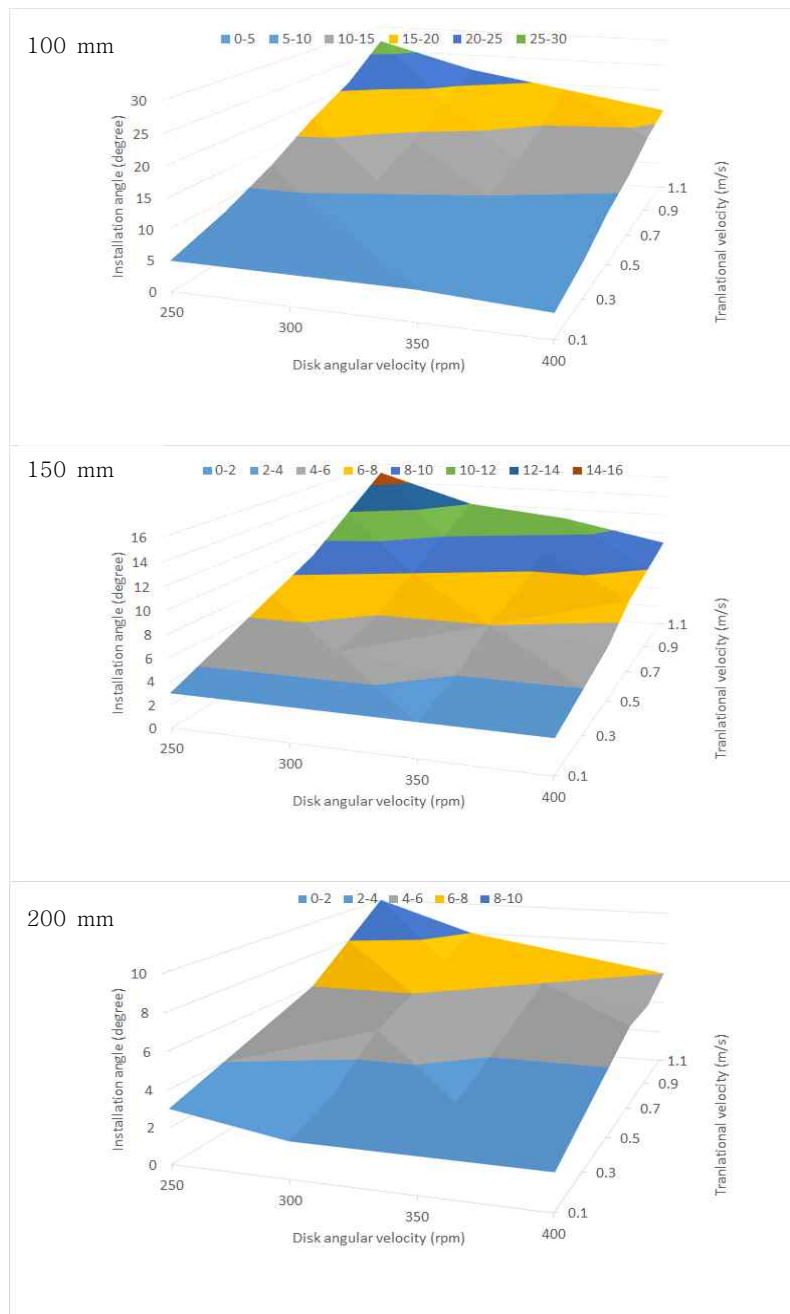
Fig. 30 Cutting angle,  $\delta_B$  (MAFRA, 2002) and installation angle,  $\theta_{FM}$

MAFRA (2002)에 따르면, 절삭각( $\delta_B$ )이  $30^\circ$  인 경우엔  $17^\circ$  의 경우보다 160~180%,  $42^\circ$  인 경우엔  $17^\circ$  의 2배 가량 동력을 소모한다고 한다. 절삭각과 설치 각도의 정의는 서로 다르지만, 그 크기는 일정한 관계가 있다(Fig. 30). 절삭각은 제초날의 면과 트로코이드 곡선의 접선 사이의 각도이고, 설치각도는 제초날의 면과 디스크 접선 사이의 각도이다. 따라서 설치각이 커지는 경우, 동력을 추가적으로 소모하므로, 적절한 제초날 설치각도 선정이 중요하다.

본 연구에서는 Table 8의 조건으로 앞에서 구한 식을 토대로 하여, 적절한 제초날 설치 각도를 찾고자 하였다. 기타 파라미터인 제초 깊이는 농촌진흥청 기준에 따라 30 mm로 고정하였고, F와 M의 거리는 10 mm로 하고, Table 8의 파라미터에 따라 최소 설치 각도를 3차원 그래프로 표시한 결과는 Fig. 31과 같다.

Table 8 Simulation variables and their values for determination of the minimum installation angle of blade

Variables	Range	Interval
disk radius	100 ~ 200 mm	50 mm
forward velocity	100 ~ 1,100 mm/s	200 mm/s
disk angular velocity	250 ~ 400 rpm	50 rpm



**Fig. 31** Recommended installation angle of weeding blade, according to disk angular velocity, translational velocity (up) and disk radius

Fig. 31을 통해 제초날의 최소 설치각도는 디스크 반경이 100 mm 일 때 4 ~ 27° , 150 mm 일 때 3 ~ 15° , 200 mm 일 때 2 ~ 10° 인 것을 알 수 있었다. 최소 설치각도는 디스크 반경이 작을수록, 디스크 회전속도가 작을수록, 제초기의 전진속도가 빠를수록 커지는 것을 알 수 있다.

따라서 제초기를 설계할 때 허용 가능한 수준으로 디스크 반경을 크게 하는 경우, 최소 설치각도를 줄일 수 있고, 이에 따라 불필요한 동력의 손실을 줄일 수 있다. 또한 빠른 전진속도를 원하는 경우, 이에 상응하는 빠른 디스크 회전속도를 갖도록 하여 최소 설치각도를 줄일 수 있다.

본 연구에서는 설계자가 정한 디스크 반경, 디스크 회전속도, 제초기 전진속도를 바탕으로 손잡이 진동을 줄일 수 있는 제초날 설치 각도를 쉽게 찾을 수 있도록  $X_{MF}$ 를 계산할 수 있는 엑셀 기반 계산기를 개발하였다(Fig. 32). 6개의 파라미터를 사용자 입력 값에 기입하는 경우,  $X_{MF}$ 가 자동으로 계산되며, 이를 바탕으로 토양 반력 발생 여부를 확인할 수 있다.

XMF Calculator			
<b>Input Variables</b>		<b>Value</b>	
Forward velocity (vt, mm/s)		400	
Disk angular velocity (ω, rpm)		350	
Weeding depth (d, mm)		30	
Disk radius (r, mm)		145	
F-M distance (x, mm)		10	
Installation angle (θ, degree)		10	
<b>Reference</b>		<b>Calculated value</b>	
Rotation radius of M(mm)		143.6016027	
Initial angle of M (rad)		0.068633032	
Time of F on soil surface (sec)		0.024988803	
Time of M on soil surface (sec)		0.02721024	
x-axis of F on soil surface		98.31312996	
x-axis of M on soil surface		96.88653943	
<b>XMF (f)</b>		<b>1.4266</b>	

Fig. 32 Calculator spread sheet(Excel 2013) for determination of the minimum installation angle

## 5. 결론

본 연구는 유기농업에서 효과적인 잡초방제를 위한 제초기 개발 연구의 일환으로 보행형 제초기의 손 진동을 줄이고자 제초날 설계 각도에 관한 이론적 고찰과 실험을 통해 이를 확인하였다.

동역학적 시뮬레이션 결과, 제초날 등이 미경토를 누르게 되면 불필요한 상방향 반력이 발생하는 것으로 판단되었다. 반력 발생 여부는 제초날이 토양에 진입할 때 제초날 상의 두 점 궤적의 상대적인 위치에 따라 확인할 수 있는 것으로 나타났다. 토양 표면에서 제초날 선단의 점이 다른 점보다 진행방향의 앞쪽에 있는 경우, 제초날 등이 미경토를 누르지 않아 반력을 발생시키지 않는다. 기하학적, 동역학적 고찰을 통해 토양 표면에서의 두 궤적 사이의 거리를 나타내는 인자를 만들었고, 해당 인자를 통해 반력이 발생하지 않는 제초날 설치 각도를 찾는 방법에 관한 연구를 수행하였다.

세 종류의 설치각도를 통해 실험한 결과, 토양 표면에서의 두 궤적 사이의 상대적인 위치가 0보다 작은 경우, 즉 불필요한 상방향 반력이 발생하는 경우와 그렇지 않은 경우 두 그룹 사이에 통계적 유의차( $p < 0.05$ )를 토양실험을 통하여 확인하였다. 이는 연구에서 토양반력이 발생하는 경우에 대한 가설을 수락한 것으로서 이를 활용하면 불필요한 토양반력을 감소시켜 손진동 감소효과를 볼 수 있다. 토양 실험에서 측정된 손진동을 불필요한 상방향 반력이 발생하는 경우와 하지 않는 경우를 비교하였을 때, 제초기 사용자 중 10%가 수지백증이 발병하는데 걸리는 시간이 17.53% 증가하는 것으로 추정되었다.

개발한 제초날 중 가장 진동이 적은 설치 각도  $8^\circ$  제초날을 활용하여 제초 성능 실험을 한 결과, 제초율이 88.93%로 나타났다. 이는 농촌진흥청의 기준을 만족한 것으로 현장에서 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구 결과를 통해 반력을 줄일 수 있는 설치 각도를 정하는 방법을 알 수 있다. 설치 각도는 경운날의 절삭각과 유사한 속성을 갖고 있으며, 설치 각도가 커질수록 소요 동력이 커지는 단점이 있다. 따라서 조건에 맞는 최소 설치 각도로 설치하는 것이 중요한데, 필요 설치각도는 디스크 반경과 디스크 회전속도, 제초기 전진속도에 따라 달라진다. 설치 각도는 디스크 회전속도가 빠를수록, 전진속도가 느릴수록 작았다. 디스크 반경이 100 mm 일 때 필요한 설치 각도는 4 ~ 27° , 150 mm 일 때 3 ~ 15° , 200 mm 일 때 2 ~ 10° 였다. 따라서 디스크 직경을 크게 만들고, 디스크 회전속도를 빠르게 하는 것이 손 진동을 줄이며, 소요 동력을 줄이는데 유리한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 상기 결과를 바탕으로 설계자가 정해놓은 디스크 반경과 전진속도, 회전속도가 주어진 경우, 손 진동을 줄일 수 있는 제초날 설치 각도를 구할 수 있는 계산용 스프레드 시트를 개발하였다.

## 6. 참고 문헌

Asia Agricultural Machinery. 2013. Available at: [www.asiafarm.co.kr](http://www.asiafarm.co.kr)

Asl, J. H. and S. Singh. 2009. Optimization and evaluation of rotary tiller blades: Computer solution of mathematical relations. *Soil & Tillage Research* 106(2009): 1-7.

BaekDoo Machinery. 2013. Available at: [www.toolpia.net](http://www.toolpia.net)

Baerveldt, S. and J. Ascard. 1999. Effect of soil cover on weeds. *Biological Agriculture and Horticulture* 17: 101-111.

Beeny, J. M. and D. C. P. Khoo, 1970. Preliminary Investigations into the Performnace of Different Shaped Blades for the Rotary Tillage of Wet Rice Soil. *J. agric. Engng Res* 15(1): 27-33.

Bond, W. and A. C. Grundy. 2001. Non-chemical weed management in organic farming systems. *Horticulture Research International*, Wellesbourne, Warwick, UK. pp. 383-405

Choi, D. C. 2012a. New Development and Principle of Organic Farming. In: *Proceedings of KAOA Conference 2012(5)*: 3-18. (In Korean)

- Choi, M. K.. 2012b. An Analysis for the Changing Trends of Residential Environment Based on the Change of Residents in Rural Areas. *Journal of Korean Institute of Rural Architecture* 14(3): 9–16. (In Korean, with English abstract)
- Choi, Y.. 2012c. Research Situation of Mechanization for Upland Farm Products in Korea. *Korea–Japan Symposium on Upland Field Mechanization Situation and Development Plan*: 151–166.
- Dewagan, K. N. and V. K. Tewary. 2009. Characteristics of hand–transmitted vibration of a hand tractor used in three operational modes. *International Journal of Industrial Ergonomics* 39(2009): 239–245.
- DONGYANGTECHTOOL. 2013. Available at: [www.dytechtool.com](http://www.dytechtool.com)
- Dytran. 2013. Dytran Instruments Incorporated. Available at: [www.dytran.com](http://www.dytran.com)
- Gruber, S. and W. Claupein. 2009. Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. *Soil Till. Res.* 105: 104–111.
- HANSUNG T&I Co., LTD.. 2013. Available at: [www.hstni.com](http://www.hstni.com)
- Hwang, S. H. and D. C. Lee. 2006. An Estimation of the Prevalence Rate of VWF by Different Wrist Posture during Grinding Tasks. *In: Proceedings of ESK 2006 conference.* 434–438. (In Korean)

- ISO. 2001. Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration. ISO 5349-1:2001(E).
- Jeong, C. J. and K. U. Kim. 1997. Principle of Farm Work Machine. Seoul National University Publishing Department. (In Korean)
- Jeong, H. K. and J. K. Jang. 2012. Analysis of consumption of Homemade Organically Processed Food. Korean Journal of Organic Agriculture 20(1): 1-19. (In Korean, with English abstract)
- JONES P. A., A. M. Blair and J. Orson. 1995. The effects of different types of physical damage to four weed species. In: Proceedings 1995 Brighton Crop Protection Conference - Weeds, Brighton, UK, 653-658.
- JONES P. A., A. M. Blair and J. Orson. 1996 Mechanical damage to kill weeds. In: Proceedings Second, International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark, pp. 949-954.
- KAMICO. 2010. Korean Agricultural Machinery Catalog in 2010 and 2011. Korea Agricultural Machinery Industry Cooperative. (In Korean)
- Kang, W. S., G. H. Lee and W. S. Kang. 1997. Effects of Flame and Infrared on Weed Control. *In: Proceedings of the KSAM '97 Winter Conference* 2(1): 288-294. (In Korean)



- Kang, W. S. and H. S. Moon. 2001. Weed Control by Flame. *Journal of Korean Society for Agricultural Machinery* 26(4): 331-336. (In Korean, with English abstract)
- Kang, T. K., C. S. Lee, H. J. Jeon, C. G. Lee, S. K. Kim and T. Y. Gwak. 2010. Application and Effects of weeding cultivator for upland field. *Research of Farming Application in Rural Development Administration*.
- Kang, H. J.. 2011. Analysis of factors affecting the off-farm Labor hours of Korean married women farmers. *Journal of The Korean Women Economists Association* 8(2): 1-28. (In Korean)
- Kim, S. S. and N. W. Paik. 1996. Assessment of Vibration Produced by Penumatic Hand Tools Used in Automobile Assembly. *Korean Ind. Hyg. Assoc. J.* 6(1): 1-16. (In Korean, with English abstract)
- Kim, S. S., Y. S. Lee and J. K. Woo. 1997. Study on the Improvement of Rotary Blade - Tilling Load Charateristic Analysis of the Three Kinds of Rotary Blade -. *Journal of Korean Society for Agricultural Machinery* 22(4): 391-400.
- Kim, T. H., I. J. Jang, J. T. Lee. 1997. Development of Electrical Methods for Weeds Control. *In: Proceedings of the KSAM '97 Winter Conference* 2(1): 295-300. (In Korean)

- Kim, S., I. B. Im, J. G. Kang, J. D. Kim and G. I. Lee. 2006. Effect of Cultivating Weeder on Tuber Formation and Shoot Growth of *Eleocharis kuroguwai* in Rice Paddy Field. *Kor. J. Weed Sci.* 26(3): 303–308. (In Korean, with English abstract)
- Kim, C. S. and K. D. Kim. 2007a. Development of a 2-row Type Band Furrow Tiller for a Walking Cultivator. *J. of Biosystems Eng.* 32(4): 223–229. (In Korean, with English abstract)
- Kim, T. S. and I. J. Jang. 2007b. Development of a Remote Controlled Weeder Driven by Solar Battery Power. *Journal of Korean Society for Agricultural Machinery* 32(2): 91–96. (In Korean, with English abstract)
- Kim, C. K., H. K. Jeong and D. H. Moon. 2012a. Production Actual Condition and Market Outlook of Internal and External Environmental Friendly Agricultural Product. *Agricultural Focus of Korea Rural Economic institute* Vol. 14. (In Korean)
- Kim K. W. and D. H. Shin. 2012b. *The newest weeding principle* 4th ed. 2nd printing. Kyungpook National University Publishing Department. p. 105. (In Korean)
- Kim, K. B., E. K. Chung, K. H. You and J. K. Jang. 2012c. Assessment on the Actual Vibration Exposure of Workers Engaging in Vibration Induced Works. *Transactions of the KSNVE* 22(10): 940–948. (In Korean, with English abstract)

- Kim, B. G., S. Y. Shin, H. K. Kim and Y. Y. Kim. 2013. A Survey on the Using State of Agricultural Machinery and Mechanized Rate. *In: Proceedings of the KSAM & KSBEC 2013 Spring Conference* 137–138. (In Korean)
- KOSHA. 2012. Guideline of Measurement and Evaluation of Hand Vibration (H-77-2012). The Korea Occupational Safety and Health Agency. (In Korean)
- KS. 2012. KS B 7142: Rotary Tine and Rotary Tine Holder for Power Tillers. Korean Industry Standards.
- KS. 2013. KS B 7143: Rotary Tine and Rotary Tine Holder of Agricultural. Korean Industry Standards.
- Kwon, K. S. and C. K. Yoo. 2000. Present conditions of organic farming of advanced countries and their implications around Germany and Japan. *Monthly Report of National Agricultural Cooperative Federation* 513: 1–16. (In Korean)
- Lee, K. S., S. H. Park, W. Y. Park and C. S. Lee. 2003. Strip tillage characteristics of rotary tiller blades for use in a dryland direct rice seeder. *Soil Till. Res.* 71(2003): 25–32.
- Lee, G. I., J. G. Won, S. W. Kim, C. S. Lee, S. N. Yoo, S. J. Hwang, H. H. Kim and D. E. Kim. 2007. Development of Weeding Machine for Environmental Friendly Rice Culture. *In: Proceedings of the KSAM 2007 Winter Conference* 12(2): 80–84. (In Korean)

- Lim, S. T., I. Y. Lee, J. R. Cho, B. C. Moon and J. E. Park. 2002. A Possible Weed Management Strategy Using the Cultivating Weeder in Rice Paddy Field. *Kor. J. Weed. Sci.* 22(3): 259–265. (In Korean, with English abstract)
- MAFRA. 2002. Development of Tractor Rotary Blade for Energy Saving. Final Research Report. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. (In Korean)
- MAFRA. 2012. Present Condition of Possession of Agricultural Machinery in 2011 (11-1541000-000272-10). Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. (In Korean)
- Nakamoto, T., J. Yamagishi and F. Miura. 2006. Effect of reduced tillage on weeds and soil organisms in winter wheat and summer maize cropping on Humic Andosols in Central Japan. *Soil Till. Res.* 85: 94–106
- NI. 2013. National Instruments Corporation. Available at: [korea.ni.com](http://korea.ni.com)
- Noh, K. K. and P. Park. 2009. A Study on Measurement and Assessment of Local Vibration by Walking-type Cultivator. *Journal of Korea Safety Management & Science* 11(1): 67–73. (In Korean, with English abstract)
- Ock, H. S. and J. Y. Pyon. Trend and Perspective of Weed Control Techniques in Organic Farming. *Kor. J. Weed. Sci.* 31(1): 8–23. (In Korean, with English abstract)

- Park, Y. J. and K. U. Kim. 2002. Analysis and Isolation of Walking-type Cultivator Vibration Transmitted to Operator's Hands. *Journal of Korean Society for Agricultural Machinery* 27(4): 273–282. (In Korean, with English abstract)
- Park, Y. J., Y. S. Lee and K. U. Kim. 2004. Vibration Reduction of Walking-type Cultivator`s Handle using Modal Analysis and Operational Deflection Shapes Techniques. *Journal of Korean Society for Agricultural Machinery* 29(2): 101–108. (In Korean, with English abstract)
- Park, S. B., Y. J. Park and K. U. Kim. 2006. Optimization of Handle Vibration of Walking-type Cultivator. *J. of Biosystems Eng.* 31(3): 139–145. (In Korean, with English abstract)
- Pullen, D. W. M. and P. A. Cowell. 1997. An evaluation of the performance of mechanical weeding mechanisms for use in high speed inter-row weeding of arable crops. *Journal of Agricultural Engineering Research* 67: 27–34.
- R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <http://www.R-project.org/>.
- Ragni, L., G. Vassalini, F. Xu and L. B. Zhang. Vibration and Noise of Small Implements for Soil Tillage. *J. agric Engng Res.* (1999) 74: 403–409
- RDA. 2004. Test Method and Inspection Standard of Powered Weeding Cultivator. Rural Development Administration

- Reddiex, S. J., S. D. Wratten, G. D. Hill, G. W. Bourdot and C. M. Frampton. 2001. Evaluation of Mechanical Weed Management Techniques on Weed and Crop Populations. *New Zealand Plant Protection* 54: 174–178.
- Rhee, J. Y.. 2012. Improvement Upland Field in Korea for Mechanization Promotion. *Korea–Japan Symposium on Upland Field Mechanization Situation and Development Plan*: 169–184.
- Turner, R., M. E. K. Lennartsson, W. Bond and A. C. Grundy. Whitehouse, D. 1999. Organic weed control – getting it right in time. In: *Proceedings 1999 Brighton Conference – Weeds*, Brighton, UK. pp. 969–974.
- USDA. 2013. Soil Texture Calculator. Natural Resources Conservation Service Soils. United States Department of Agriculture. Available at: [www.nrcs.usda.gov](http://www.nrcs.usda.gov)
- Won, J. G. D. J. Ahn, S. J. Kim, S. D. Park and C. D. Choi.. 2008. Weed Control by Weeder Machine in Transplanted Rice Paddy Field for Mechanical Weed Control. *Kor. J. Weed. Sci.* 28(1): 1–7. (In Korean, with English abstract)
- Yim, S. H., H. S. Park and J. I. Yang. 2002. A study on the assessment of vibration produced by the powered hand tools used and hand–arm vibration syndrome prevalent in the shipbuilding industry. *Journal of the Ergonomics Society of Korea* 21(4): 25–45. (In Korean, with English abstract)

Yoo, D. K.. 2011. A Study on Strategy Development for Stabilization of Developing New Markets for Organic Products. Social Science Research in Dongguk University 18(1): 5-39. (In Korean)

# A Study on Rotary Weeding Blade Installation Angle for Reduction of Hand Vibration in Working Type Cultivator

Kwon Tae Hyeong

Rotary type walking weeding cultivator is suitable to organic farm in Korea because of its light weight and small size those make old worker and female worker use it easily. However walking type cultivator transmits hand vibration to workers, and it causes musculoskeletal disorder. Hand vibration is generated by engine and working part that compacts soil. In this study, a theory about soil reaction depended on installation angle of weeding blade was drawn. After that, verification of the theory and evaluation of weeding performance were conducted. Also, finding installation angle for reducing hand vibration was studied with the theory.

Six parameters that forward velocity of cultivator, angular velocity of disk, radius of disk, weeding depth, length of weeding apparatus and installation angle of weeding blade were selected for this study. Width of weeding blade influenced soil reaction, but it was not considered because it concerned with the number of disks and overall weeding width. Therefore width of weeding blade was excluded from the parameters. For verification the theory,



experiments were performed for verification the theory and weeding performance. Vibration experiment was performed depended on ISO 5349:1, and three type disk (0, 4, 8° of installation angle) was used. Weeding performance experiment was depended on Rural Development Administration guideline.

Using dynamic analysis computer program, motion of weeding blade in soil was analysed. According to simulation, if trace of blade edge was behind trace of another point of same blade on soil surface, the back of blade pressed virgin soil and the cultivator received an unnecessary upward soil reaction. The case that weeding blade passed vertical angle with center of disk did not influence upward soil reaction. Therefore soil reaction occurrence could be judged by index ( $X_{MF}$ ) which calculated by  $x$  axis of two traces on soil surface. If  $X_{MF}$  is smaller than 0, unnecessary upward soil reaction will be occurred.

$X_{MF}$  was expressed by six parameters. In vibration experiment,  $X_{MF}$  was calculated by forward velocity and installation angle in each experimental spot. Vibration total value of frequency – weighted r.m.s. ( $a_{hw}$ ) was compared with  $X_{MF}$ . According to T-test, two groups that positive group ( $X_{MF} > 0$ ) and negative group ( $X_{MF} < 0$ ) had significant difference ( $p < 0.05$ ). In aspects of the group mean total (lifetime) exposure duration, positive group was 17.53% bigger than negative group. The result of field test accepted the theory. In weeding performance experiment, weeding blade of 8° installation angle had 88.93% weeding ratio that was higher than standard of Rural Development Administration, 80%.

Installation angle was concerned with cutting angle of tillage blade. Therefore bigger installation angle brought about high energy consumption. While bigger installation angle caused higher possibility of no occurrence unnecessary upward soil reaction. The minimum installation angle of trade-off between vibration and energy consumption was found according to the theory. The minimum installation angles were different in disk radius, disk angular velocity and forward velocity. When disk radius 100, 150 and 200 mm, minimum installation angles were  $4 \sim 27^\circ$ ,  $3 \sim 15^\circ$  and  $2 \sim 10^\circ$ , respectively. In this study, a spread sheet program which calculated  $X_{MF}$  was developed by Excel 2013. The program could be utilized for finding minimum installation angle for reduction soil reaction, and it could be reduced hand vibration.

---

**Keywords : rotary type weeding cultivator, hand vibration,  
weeding blade**

**Student No. : 2012-21123**



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

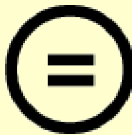
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

손 진동을 줄이기 위한 보행형 제초기 제초날의  
설치각도에 관한 연구

A Study on Rotary Weeding Blade  
Installation Angle for Reduction of Hand  
Vibration in Working Type Cultivator

2014년 2월

서울대학교 대학원

바이오시스템 · 소재학부 바이오시스템공학전공

권 태 형

손 진동을 줄이기 위한 보행형 제초기 제초날의  
설치각도에 관한 연구

A Study on Rotary Weeding Blade  
Installation Angle for Reduction of Hand  
Vibration in Working Type Cultivator

지도 교수 이 중 용

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2014년 2월

서울대학교 대학원

바이오시스템 · 소재학부 바이오시스템공학전공

권 태 형

권태형의 공학석사 학위 논문을 인준함.

2014년 2월

위원장 김 경 욱 

부위원장 이 중 용 

위원 김 학 진 

## 국 문 초 록

로터리식 보행형 제초기는 구조가 단순하여 크기가 작고 가볍기 때문에 국내 소규모 유기 밭에서 여성과 고령 노동자가 사용하기에 적합하다. 하지만 보행형 제초기는 작업자가 손잡이를 잡고 작업하는 형태이기 때문에 반복적인 진동에 지속적으로 노출되어 작업자의 건강에 영향을 미친다. 손잡이 진동은 작업부가 토양과 충돌하면서 발생하기도 한다. 본 연구는 제초날 설치 각도에 따라 토양에서 받는 반력에 관한 이론을 도출하고, 실험을 통해 이를 증명하고자 하였으며, 제초 성능도 확인하였다. 또한 앞의 이론을 통해 손 진동을 감소시키는 제초날의 설치 각도를 찾는 연구를 수행하였다.

본 연구에서 선정한 제초기구의 파라미터는 제초기의 전진속도, 디스크의 회전속도, 디스크 반경, 목표 제초 깊이, 토양에 진입하는 제초날의 길이, 제초날의 설치 각도 등 6가지로 하였다. 제초날의 폭은 길어질수록 토양으로부터 받는 반력이 더 커지지만, 이는 디스크의 개수와 전체 제초 작업폭과 관련이 있으므로 본 연구의 파라미터로 고려하지 않았다. 도출한 이론을 검증하기 위해서 진동실험과 제초실험 등 총 2회의 현장 실험을 수행하였다. 진동실험은 ISO 5349:1에 따라 실시하였으며 0, 4, 8°의 설치각도를 가진 제초날을 활용하였다. 제초실험은 농촌진흥청의 동력 중경제초기 시험 방법 및 검사 기준에 준하였다.

동역학 해석프로그램을 통해 제초기의 전진속도와 디스크의 회전속도에 따라 제초날이 토양에 충돌하고, 토양 내부에서 움직이는 것을 확인하였다. 그 결과, 토양 표면에서 제초날 상의 두 점 중 나중에 토양에 진입하는 점의 궤적이 다른 점의 궤적보다 제초기의 진행방향 쪽에 있는 경우, 제초날 등이 미경토를 눌러 제초날이 불필요한 반력을 받음을 확인하였다. 또한 제초날과 디스크 중심이 연직을 이루는 순간부터 제초날이 토양에서 나오는 순간까지는 제초날의 설치각도에 관계없이 나중에 토양에 진입하였던

점의 궤적은 경운 토양에서만 나타나는 것으로 확인되었다. 따라서 제초날 설치 각도와 기타 파라미터에 따른 불필요한 상방향 반력 발생 유무는 제초날의 선단과 이후의 점이 토양에 진입하는 위치에 따라 판단이 가능하였다. 두 진입지점의 거리를  $X_{MF}$ 라 하였으며 이 값이 0보다 작은 경우 반력이 발생한다는 가설을 세웠다.

$X_{MF}$ 는 앞의 여섯 개의 파라미터로 나타낼 수 있다. 진동실험에서는 시험구별로 해당 시험구에서의 제초기 속도와 제초날 설치 각도 등을 고려하여  $X_{MF}$ 를 계산하였고, 측정된 손잡이의 주파수 가중 가속도와 비교하였다.  $X_{MF}$ 의 부호에 따라 두 그룹을 나눠 T검정을 한 결과, 통계적 차이가 있는 것으로 나타났고( $p < 0.05$ ), 수지백증 발병 평균 진동 노출 기간이 17.53% 증가하는 것으로 추정되었다. 이는 현장실험을 통해 앞에서 도출한 가설을 수락한 것으로 볼 수 있다. 또한 설치각도가  $8^\circ$  인 제초날을 활용한 제초 실험한 결과, 제초율은 88.93%로 농촌진흥청 기준인 80%보다 높게 나타났다.

제초날의 설치 각도는 경운날의 절삭각과 관련이 있으며, 각도가 크면 동력 소모가 많아진다. 반면에 설치 각도가 커지면, 불필요한 상방향 반력이 발생하지 않을 가능성이 커진다. 따라서 동력 소모와 반력 발생에 관한 상충점을 찾고자 제초날의 최소 설치 각도를 이론식을 통해 도출하였다. 최소 설치 각도는 디스크 반경, 전진속도, 디스크 회전속도에 따라 다르며, 디스크 반경이 100 mm일 때  $4 \sim 27^\circ$ , 150 mm 일 때  $3 \sim 15^\circ$ , 200 mm 일 때  $2 \sim 10^\circ$  인 것으로 나타났다. 도출한 이론식을 통해 엑셀 기반 계산 프로그램을 개발하였으며, 이를 활용한다면 반력을 줄이고 손 진동을 감소시키는 제초날을 설계하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

---

**주요어 :** 로터리식 제초기, 손 진동, 제초날

**학 번 :** 2012-21123

# 목 차

1. 서론 .....	1
2. 문헌조사 .....	4
가. 기계 제초의 개요와 현황 .....	4
나. 유기농업에서의 제초 작업 연구 .....	8
다. 유기농업을 위한 밭 전용 제초기 연구 .....	11
라. 보행형 관리기의 손 진동에 관한 연구 .....	13
마. 로터리식 경운날의 형상 연구 .....	15
3. 재료 및 방법 .....	18
가. 제초날 설계 파라미터 .....	18
나. 진동 실험 .....	21
1) 제초날과 보행형 제초기 .....	21
2) 실험 장소 및 조건 .....	23
3) 실험 방법 .....	24
4) 진동 측정 장비 .....	25
5) 진동 측정 방법 및 데이터 처리과정 (ISO 5349:1) .....	27
5) 데이터 분석 .....	30
다. 제초 성능 실험 .....	31
1) 실험 장비 및 포장 정보 .....	31
2) 실험 방법 .....	32



4. 결과 및 고찰 .....	33
가. 제초날 설계 방안 .....	33
나. 진동 실험 .....	38
1) 진동 스펙트럼 .....	38
2) $X_{MF}$ 계산 .....	40
3) $X_{MF}$ 와 $a_{hw}$ 의 관계 .....	43
4) $D_y$ 비교 .....	44
다. 제초 성능 실험 .....	45
라. 최소 설치각도 제안 .....	47
5. 결론 .....	50
6. 참고 문헌 .....	52

## List of Figures

Fig. 1 Riding type weeder (DONGYANGTECHTOOL, 2013) .....	5
Fig. 2 Horizontal disk type weeder (HANSUNG T&I Co., LTD., 2013) .....	6
Fig. 3 Cultivator (Asia Agricultural Machinery, 2013) .....	7
Fig. 4 Mini-size cultivator (BaekDoo Machinery, 2013) .....	7
Fig. 5 Saw-type blade A (left) and B (right) (Lee et al., 2007) .....	10
Fig. 6 Horizontal shaft type weeder (left) and crank type weeder (right) developed by Rural Development Administration .....	11
Fig. 7 Un-weeded region shown in the center square due to slippage of the crank type cultivator .....	12
Fig. 8 Trace of hoeing blade tip with forward speed 0.3 m/s (left) and 0.4 m/s (right) .....	12
Fig. 9 Experimental blade shape (Beeny and Khoo, 1970) .....	15
Fig. 10 A typical rotary cultivator blade showing design parameters (Beeny and Khoo, 1970) .....	16
Fig. 11 Rotary weeding blade attached to disk .....	18
Fig. 12 Design and dynamic parameters on the rotary blade .....	19
Fig. 13 Trochoid trace of point F on weeding blade .....	20
Fig. 14 Rotary disk and weeding blade assembly, side view (right) and front view (left) .....	21
Fig. 15 View of test weeding cultivator .....	22
Fig. 16 Test site for hand vibration measurement .....	23
Fig. 17 Experimental plot design for hand vibration experiment (installation angle: 0, 4, 8°, speed: Slow, Medium, Fast) .....	24

Fig. 18 Tri-axial accelerometer, 3273A1T (Dytran, 2013) .....	25
Fig. 19 NI 9234 data acquisition module (NI, 2013) .....	25
Fig. 20 Measurement program based on LabVIEW 2009 .....	26
Fig. 21 Coordinate system of “Handgrip” position (ISO, 2001) .....	27
Fig. 22 Accelerometer attached to handle .....	27
Fig. 23 Experimental design of field test for weeding performance .....	32
Fig. 24 Simulation result when translational velocity was 0.4 m/s, disk angular velocity was 350 rpm, weeding depth was 30 mm and disk radius was 145 mm .....	34
Fig. 25 Trace of two points F and M on a blade .....	35
Fig. 26 Hand vibration spectrums in the y and z axis .....	38
Fig. 27 Speed of cultivator with three kinds of speed (S: Slow speed, M: Medium speed, F: Fast speed) .....	41
Fig. 28 Result of $X_{MF}$ and $a_{hv}$ .....	43
Fig. 29 View of test site, before and after weeding .....	46
Fig. 30 Cutting angle (MAFRA, 2002) and Installation angle .....	47
Fig. 31 Recommended installation angle of weeding blade, according to disk angular velocity, translational velocity (up) and disk radius .....	48
Fig. 32 Calculator spread sheet(Excel 2013) for determination of the minimum installation angle .....	49

## List of Tables

Table 1	Specification of KT-400 weeding cultivator .....	22
Table 2	Soil texture of test site for hand vibration measurement ...	23
Table 3	Specifications of data acquisition module for hand vibration measurement (NI, 2013) .....	26
Table 4	Soil texture of test site for weeding performance evaluation .....	31
Table 5	Result of calculation $X_{MF}$ with six factors .....	42
Table 6	The group mean total (lifetime) exposure duration depended on $X_{MF}$ and daily using time .....	44
Table 7	Result of weeding performance experiment (%) .....	45
Table 8	Simulation variables and their values for determination of the minimum installation angle of blade .....	47

## 1. 서론

식품의 원료인 농산물 생산은 식품 생산과정 중에 가장 첫 번째 단계로, 식품 안전성을 결정짓는 중요한 단계로 볼 수 있다. 건강에 관심이 많은 소비자들은 합성화학물질을 사용하지 않고 생산한 유기농산물을 선호한다. Jeong and Jang (2012)의 조사에 따르면, 유기가공식품 구매 시 인증마크를 확인한다는 응답이 72.8%로 나타나고 가족건강증진 여부에 대해 도움이 된다고 응답한 비율이 48.8%로 나타나는 등, 유기농업에 대한 소비자의 관심이 높다.

유기농산물을 비롯한 친환경농산물은 일반 농산물의 145 ~ 271% 수준으로 고가로 형성되며(Choi, 2012a) 이러한 이유 중 하나는 친환경유기농산물 생산의 특수성에서 비롯된다(Yoo, 2011). 유기농업은 합성화학물질을 사용하지 않기 때문에 농민이 잡초를 방제하는데 어려움이 있다. 잡초는 작물과 양수분 경합을 통해 작물의 품질과 생산량을 저해시키는 문제가 있기 때문에, 농민의 주된 관심사이다.

유기농업에서 잡초 방제 방법 중 하나인 인력제초는 배추의 경우 8.3 ~ 11.8 시간/10a (총 노동투하시간의 8.1~12.0%)로 노동력을 많이 소모한다(Kang et al., 2010). 이러한 인력제초는 농민에게 부담이 되고, 도시에 비해 높은 농촌의 고령화(Choi, 2012b)와 여성화(Kang, 2011)는 이러한 문제를 더욱 심각하게 한다.

기계 제초는 쇄토와 유사한 작업을 통해 토양을 전복하여 잡초를 방제하므로(Gruber and Claupein, 2009; Nakamoto et al., 2006), 방제에 효과적이며(Bond and Grundy, 2001), 노동 시간의 90%를 단축할 수 있는 장점이 있다(Won et al., 2008). 하지만 국내 밭의 경우에는 경사가 있는 산간지역에 위치하며 경지정리가 되지 않은 곳이 많아 대형 기계의 활용이

어렵다는 문제가 있다(Rhee, 2012). 또한 작목수가 많고 재배양식이 다양하며 규모가 영세하여 다품종의 농기계가 필요하여 기계 도입이 어려운 문제도 있다(Choi, 2012c). 이러한 이유들로 밭 제초 작업의 기계화율은 작목별로 다르지만 대부분 60% 미만으로 낮은 것으로 나타났다(Kim et al., 2013).

저농약 사용 인증을 통해 친환경 유기농산물 생산에 접근하였지만, 2009년 이후 신규 저농약 인증이 중단되면서 친환경농산물 인증 건수가 감소하고 있고(Choi, 2012a), 이는 제초 작업 등이 기계화되지 않은 현재 상황에서는 농업인들이 더 이상 유기농업으로 전환하기 어렵다는 것을 보여준다. 하지만 선진국의 경우 유기농산물 재배면적과 관련 시장이 꾸준히 증가하고 있고(Kwon and Yoo, 2000), 국내에서도 유기농산물에 대한 수요와 고소득을 위한 농민의 노력이 유기농산물 시장을 확대할 것으로 보인다(Kim et al., 2012a). 따라서 농민들에게 유기농업에 대한 진입 장벽을 낮추기 위해 관련 농작업의 기계화가 이루어져야 한다.

소형 보행형 제초기는 그 구조가 간단하고 가벼워 여성 노동자와 고령층이 사용하기에 적합하다. 따라서 소형 보행형 제초기는 밭 제초 작업의 훌륭한 대안이 될 수 있다. 하지만 보행형 제초기는 농민이 손잡이를 잡고 작업하는 형태이기 때문에 반복적인 진동에 노출되는 문제가 있다. 반복적인 진동에 노출된 작업자는 레이놀즈 증후군이나 수지백증 등의 근골격계, 혈관계 질환에 걸릴 수 있다(Park et al., 2004; Noh and Park, 2009). ISO 5349에서는 손 진동을 측정하고 평가하는 지침을 마련하고 있으며(ISO, 2001), 국내에서도 안전보건기술지침으로 손 진동 측정 및 평가지침을 마련하고 있는 등(KOSHA, 2012) 산업보건 측면에서 많은 관심을 받고 있다. 따라서 보행형 제초기의 손 진동을 줄여 농민의 보건을 위한 노력이 필요하다.

손잡이 진동의 진동원은 엔진과 작업부(Park et al., 2004)이고, 이 중 엔진에서 발생하는 진동에 관한 연구는 많이 이루어졌다. 하지만 작업부가

토양과 충돌하면서 받는 진동에 관한 연구는 미비하다. 로터리식 보행형 제초기와 작업 형태가 비슷한 경운기의 경운날 설계에 관한 연구는 비교적 많이 이루어졌다(Beeny and Khoo, 1970; Lee et al., 2003). 하지만 경운날의 본래 목적에 맞는 경운 성능 등에 초점에 맞춰져 있고, 반력에 관한 연구는 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 제초날 설치 각도에 따라 토양에서 받는 반력에 관한 이론을 도출하고, 실험을 통해 이를 증명하고자 하였다. 또한 제초날의 본래 역할에 맞게 일정 수준 이상의 제초 성능도 가져야 하므로 이를 확인하였다. 마지막으로 본 연구에서 도출된 이론을 바탕으로 반력을 줄이는 제초날의 설치 각도를 찾는 방법에 관한 연구를 하였으며, 이를 쉽게 계산할 수 있는 엑셀 기반 계산기 프로그램을 개발하였다.

## 2. 문헌조사

### 가. 기계 제초의 개요와 현황

화학적 제초를 배제한 잡초 방제법은 크게 물리적, 경종적, 생물적 방법들을 들 수 있으며, 통상적으로는 이 모든 방법을 병행하는 것이 바람직하다(Ock and Pyon, 2011). Kim and Shin (2012b)에 따르면, 기계적 방법에는 중경(cultivation or uphilling)과 예취(mowing)가 있다. 예취는 잡초를 베는 것으로 잡초의 경합력을 줄이고, 중경은 땅을 갈아주거나 배토하여 잡초를 방제하는데, 잡초를 묻어버리는 효과와 근계를 파괴해 버리는 효과가 있다. 중경은 파종 시기와 작물 재배 초기에 진행하고, 작물이 어느 정도 자란 이후에는 잡초에 비해 양수분 경합력이 우세하기 때문에 잡초의 영향을 덜 받는다. 이러한 점을 고려한다면, 중경이 농민의 제초 작업 횟수를 줄일 수 있기 때문에 비교적 유리하다고 볼 수 있다.

중경제초는 중경, 제초, 복토를 동시에 하는 중경제초기와 다목적용 관리기로 작업할 수 있다. KAMICO (2010)에 따르면, 관리기는 5개 업체, 동력제초기는 8개 업체, 동력중경제초기는 3개 업체에서 판매하고 있다. 관리기의 경우에는 보행형과 승용형으로 보급되어 있으며, 2011년 말 기준 국내 관리기 보급현황은 총 398,596대로 이 중 보행형은 358,978대로 승용형보다는 보행형이 더 많이 보급되었다(MAFRA, 2012). 관리기는 수도작용과 전작용이 따로 제작되고 있다.

밭에서 사용하는 중경제초기에는 동력 경운기용 컬티베이터, 트랙터용 컬티베이터, 롤링 컬티베이터, 로터리 컬티베이터가 있고, 전용제초기에는 위더(weeder)가 있다(Jeong and Kim, 1997). 동력 경운기용은 2조식, 3조식 중경제초기가 있고, 트랙터용 컬티베이터는 원판을 부착한 디스크 컬티베이터(disk cultivator), 중경작업을 주로 하는 스프링 타인 컬티베이터(spring tine cultivator), 작업날을 교체하여 사용할 수 있는 리지드 타인



컬티베이터(rigid tine cultivator) 등이 있다. 동력 경운기는 트랙터의 보급으로 인해 1998년에 959,976대에서 2011년에는 667,897대로 보유가 감소(MAFRA, 2012)하고 있기 때문에 동력 경운기용으로 제작하는 것은 곤란하다. 트랙터의 경우에는 보급이 꾸준히 증가하고 있지만, 밭 농사에서는 경운과 정지를 제외한 기계화가 잘 이루어지지 않았기 때문에 트랙터용 컬티베이터도 제외하였다. 롤링 컬티베이터나 로터리 컬티베이터는 회전날과 작업 조수 등이 차이가 있지만, 원리가 비슷하면서 또한 국내에 시판되는 전작용 보행형 관리기의 형태와도 원리가 유사하기 때문에 개발이 비교적 용이할 것으로 보인다.

국내에 시판되는 제초기는 승용형, 원판형, 로터리형 등의 형태가 있으나, 실제 밭에서 사용하기에는 부적합한 형태가 많다. 승용형(Fig. 1)의 경우에는 트랙터와 같은 이유로 접근성과 경사지 등 포장에서의 문제 때문에 사용이 어렵다.



**Fig. 1** Riding type weeder (DONGYANGTECHTOOL, 2013)

원판식 제초기(Fig. 2)는 수직회전축에 제초날을 부착하여 사용하는 형태로, 작업반경이 넓기 때문에 밭 고랑에서 사용하기에 부적합하다. 실제로

원판식 제초기는 잔디밭이나 과수원에서 사용되고 있다. 제초기란 이름을 갖고 나온 상품 중 일부는 잔디깎기용으로 중경제초기와 거리가 먼 경우도 있다.



**Fig. 2** Horizontal disk type weeder (HANSUNG T&I Co., LTD., 2013)

경운기 형태와 유사한 관리기(Fig. 3)는 아세아농기계 등 일부 소형 농기계 관리에서 자체 생산을 하고 있다. 하지만 국내 소규모 밭에 적용하기에는 다소 크기가 크고 무거운 편이다. 160 kg이 넘는 중량은 고령화, 여성화 되어가는 국내 농가에 적용하기 어려우며, 판매가격이 200~300만원으로 영세한 규모의 밭에서 사용하기에는 부담이 있다.



Fig. 3 Cultivator (Asia Agricultural Machinery, 2013)

국내 판매되는 소형 관리기(Fig. 4)는 일본, 미국, 이탈리아의 제품이 많으며, 이 중에 일본 제품이 주를 이루고 있다. 소형 관리기의 작업폭은 보통 30 mm 내외로 국내 밭에 적용이 용이하다. 무게는 20 kg 내외로 가벼워 휴대가 편리하다. 보통 100만원 이내로 영세 규모의 국내 밭에 적합하지만, 토양으로부터 받는 반력으로 인한 손 진동의 영향을 받기 쉽다.



Fig. 4 Mini-size cultivator (BaekDoo Machinery, 2013)

## 나. 유기농업에서의 제초 작업 연구

유기농업에서 제초 방법은 물리적, 생물학적, 경종적 방제법을 활용한다. 기계적 방제법은 물리적 방제법 중 많이 사용하는 방제법으로, 이에 대한 문헌을 연구한 사례가 있다. Bond and Grundy (2001)은 유기농업에서 사용할 수 있는 비화학적 잡초방제에 대한 문헌조사를 하였는데, 이에 따르면 Jones et al. (1995, 1996)은 잡초를 토양 표면에서 1 cm 정도 묻는 것이 잡초방제에 가장 효과적이라는 연구 결과를 얻었다. 또한 Baerveldt and Ascard (1999)는 잡초방제를 위해서 잡초가 땅에 완전히 묻혀야 하지만, 묻혀야 하는 깊이는 잡초 크기와 생장 양상에 따라 다르다고 하였다. 그리고 잡초 방제를 위한 적절한 타이밍은 Turner et al. (1999)에 따르면 작물 경합력에 달려있고, Pullen and Cowell (1997)은 잡초의 생장 단계에 따라 다르다고 하였다고 한다. 위 연구들에 따르면, 중경제초는 유기농업에서 사용할 수 있는 효과적인 잡초 방제법인 것을 알 수 있고, 또한 그 원리는 잡초와 작물의 경합력 차이에 근거하였다.

국내에서는 국내 실정에 맞는 중경제초기를 개발하고 이를 평가하는 연구도 있었는데, Kim and Kim (2007a)은 보행형 관리기에 부착하는 2조식 부분 중경제초기를 개발하고 성능시험을 통해 평가하였다. 제작한 중경제초기의 전진속도는 0.5 ~ 0.83 m/s이고, 이 경우 원활한 제초작업이 가능하다고 하였다. 이 연구는 중경제초기를 실제로 제작하고, 농촌진흥청이 제시하는 방법에 따라 평가한 연구 사례로 볼 수 있다. Kim and Jang (2007b)은 태양전지를 이용하여 원격으로 조종하는 중경제초기를 개발하고 무논에서 실험하면서, 작동하는 동안 소요되는 전력과 어느 정도 슬립이 있는지 등을 파악하였다. 이 연구는 추후 자동화와 에너지절감에 대한 가능성을 보여주었다.

중경제초기를 어떻게 활용하는지에 대한 연구도 진행된 바 있다. Lim et al. (2002)은 친환경농산물 생산을 위한 중경제초기의 적정 사용시기와 잡

초방제효과, 사용연차별 잡초 군락 변화 및 문제점을 검토하기 위한 연구를 진행하였고, 논에서 중경제초를 1회 실시하는 경우 사용 시기에 따라 방제 효과가 50.7 ~ 64.6%, 2회 실시하는 경우 76.3%의 효과가 나타난다는 등의 결과를 얻었다. Won et al. (2008)은 동력제초기 처리회수를 늘릴수록 발생잡초 초종, 총발생본수, 건물중 등이 현저히 줄어들고, 노동력은 손 제초에 비해 90% 이상 노동시간이 절감된다는 것을 확인하였다. 또한 동력제초기의 투입시기가 늦어질수록 쌀 수량이 감소되는 경향이 있다는 결과를 얻었다.

중경제초기에서 제초날의 형상이나 잡초에 따라 그 효과가 달라질 수 있는데, Reddeix et al. (2001)은 세 가지 방식(tine, spoon, inter-row hoe)의 제초기와 네 종의 작물을 상호교차식으로 실험하여 작물 생육에 따른 각 제초기의 성능을 파악하였다. 이 연구에서는 작물의 생육 경향에 따라 나눠 평가하였는데, 생육이 왕성한 작물의 경우에는 잡초에 대한 경합력이 좋기 때문에 제초기의 효과가 미약하다고 하였다. 또한 잡초에 영향을 받지 않는 작물들은 제초기 사용으로 큰 효과는 볼 수 없다고 하였다. 콩을 대상으로 하는 경우에는 기계제초로 일부 작물이 손상을 받을 수도 있음에도 불구하고 수확량은 대조구에 비해 많았다는 결과를 얻었다. 이 연구를 통해 기계제초의 잡초 방제는 앞에서 확인한 바와 같이 경합에 의한 것이 크다는 것, 작물에 따라 잡초로부터 받는 영향이 다르다는 점 등을 알 수 있다. Kim et al. (2006)은 유기농 벼 생산 시 문제시 되는 잡초인 올방개의 방제에 중경제초기 이용가능성을 검토하여 실시하였는데, 이앙밀도와 제초횟수 등에 따라 그 결과를 검토하였다. 이는 중경제초기에 대한 연구를 대상 잡초를 특정하여서도 연구할 가치가 있다는 것을 보여주었다. Lee et al. (2007)은 논에서 사용하는 중경제초기를 개발하였고, 제초날 형상 및 전진속도별 제초효과와 포장 성능 시험 등을 진행하였다. 실험은 톱날형 A와 톱날형 B (Fig. 5)로 실험을 하였는데, 제초날 피치가 각각 15 mm, 30 mm이었고, 제초효과는 톱날형 A가 양호하다는 결론을 얻었다. 위 연구들은 중경제초기 연구가 제작과 활용에 관한 연구에 국한되지 않고, 제초날이나 잡초 종 등을 고려하여 더욱 심도 있는 연구가 가

능하다는 것을 보여주었다.

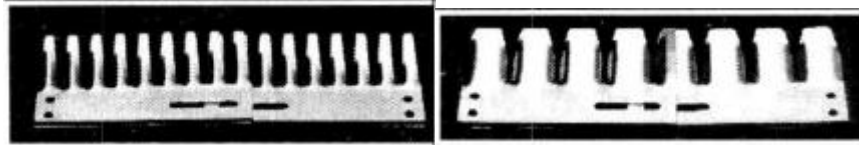


Fig. 5 Saw-type blade A (left) and B (right) (Lee et al., 2007)

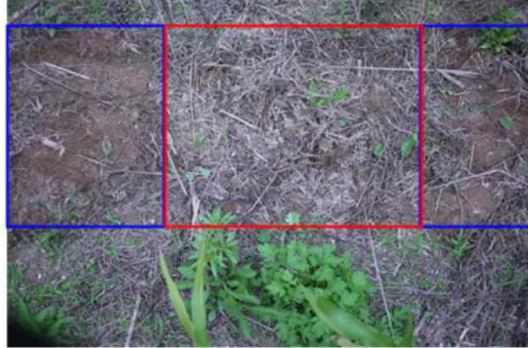
기계적 방제법 외에 다른 물리적 방제법을 활용한 연구도 일부 존재하였다. Kang et al. (1997)은 불꽃과 적외선을 이용한 잡초 방제에 관한 연구를 진행하였는데 LPG소모량이 100 kg/ha 이하에서는 불꽃 잡초방제기가, 100 kg/ha 이상에서는 적외선 잡초방제기가 더 큰 방제효과를 가진다는 결론을 내렸다. 또한 Kang and Moon (2001)은 석유불꽃을 이용하여, 물리적 잡초 방제 중 열을 이용한 연구의 가능성을 보여주었다. 또한 Kim et al. (1997)은 전기가 잡초의 잎이나 줄기를 절단하거나 종자를 발아하지 않는다는 점을 연구하여 전기를 이용한 물리적 방제가 가능하다는 것을 보여주었다. 하지만 기계적 방제법 이외에 비교적 최근에 관련된 연구가 지속되지 않는 것으로 보아 기계적 방제법에 비해 연구가 활발히 이루어지지 않는 것으로 보인다.

## 다. 유기농업을 위한 밭 전용 제초기 연구

농촌진흥청에서는 2010년에 밭에서 사용할 수 있는 전용제초기 2종을 개발하였다(Fig. 6). 수직축 회전식 제초기는 엔진의 동력을 받은 축이 회전을 하면서 제초를 하는 형태로 좁은 폭에서도 작업이 가능하지만, 잡초가 회전축에 말리는 문제가 있었다. 크랭크식 제초기는 호미로 제초하는 방식을 차용한 것으로 엔진의 동력이 크랭크 제초날과 바퀴에 전달된다. 구동륜이 존재하여 오르막길에서도 힘을 들이지 않고 운용할 수 있으나, 기어 박스나 체인 등 다양한 기계요소부품이 필요하여 중량이 무거운 단점이 있었다. 무거운 중량은 내리막길에서 불리하였는데 무게에 의한 슬립이 발생해 일부 구간에서 제초 작업을 하지 않고 미끄러진 부분이 있는 것으로 나타났다(Fig. 7).

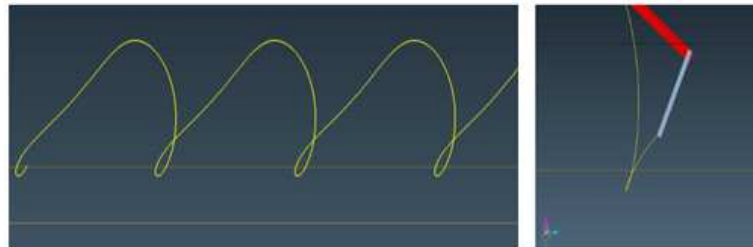


**Fig. 6** Horizontal shaft type weeder (left) and crank type weeder (right) developed by Rural Development Administration



**Fig. 7** Un-weeded region shown in the center square due to slippage of the crank type cultivator

또한, 크랭크식 제초기는 하향경운 방식으로 전진속도와 제초 성능이 서로 상충되는 문제가 있었는데, 0.4 m/s 이상의 속도에서는 제초에 필요한 경운 작업을 하지 못하고 지면에 침투하였다가 빠져나가는 현상을 보임으로써 제초 성능이 거의 나타나지 않는다는 점이 시뮬레이션을 통해 확인되었다(Fig. 8).



**Fig. 8** Trace of hoeing blade tip with forward speed 0.3 m/s (left) and 0.4 m/s (right)

실험 결과, 크랭크식 제초기는 전진속도가 0.11 m/s, 제초율은 60% 수준인 것으로 확인되었다. 제초성과 전진속도가 상충하는 이상, 더 좋은 더 빠른 전진속도와 더 높은 제초성을 동시에 갖기엔 어렵다. 따라서 가볍고 전진속도와 제초성의 상충이 존재하지 않는 로터리식 제초기가 실제 활용에 유리하다.



## 라. 보행형 관리기의 손 진동에 관한 연구

ISO 5349:1은 손으로 전달되는 반복적인 진동에 관한 측정과 평가지침을 제공하고 있다. 위 표준은 일반적으로 그라인더와 같은 공구에 관해 적용되며 관련 연구가 수행되어졌다. Hwang and Lee (2006)는 그라인더 사용으로 인한 백지증 유병율을 예측하기 위한 연구를 수행하였고, 손목자세와 그라인더를 쥐는 힘에 따라 유병율에 영향을 미친다는 것을 확인했다. Yim et al. (2002)은 조선소에서 사용하는 전동수공구의 진동을 ISO 5349:1에 따라 평가하고, 의학적 진단인 냉수 침지검사를 활용하여 이를 비교하였다. 기타 동일 표준을 활용하여 사용자 보건 중심의 연구가 많이 수행되었다(Kim et al., 1996; Kim et al., 2012c).

보행형 관리기의 경우, 앞의 공구와 마찬가지로 사용자가 지속적인 손 진동에 노출되는 문제가 있다(Ragni et al. 1999). 관리기의 진동은 엔진과 작업 시에 제초날과 포장의 충돌로 인해 발생하고, 발생한 진동은 관리기 프레임에 따라 사용자 손으로 전달된다. 이에 따라 농업용 관리기에서도 ISO 5349 표준에 따른 연구가 진행되어 왔다. Dewangan and Tewary (2009)는 보행형 관리기의 작업 모드에 따라 손 진동이 어떻게 달라지는지를 확인하였고, Noh and Park (2009)은 보행형 관리기의 진동을 ISO 표준과 미국 산업위생 전문가협회의 자료에 따라 분석한 바 있다. Park et al. (2004)는 운전 중 변형 형상 기법을 활용하여 핸들 진동을 감소시키고자 하였고, 이 연구에 이어서 Park et al. (2006)은 손잡이에 질량을 추가하여 핸들 진동을 줄이기 위한 연구를 하였다. 또한 Park and Kim (2002)은 보행형 관리기의 손 진동을 줄이기 위해 엔진 마운트에 방진 장치를 설치하는 등 다양한 방진 대책에 따른 진동 감소 효과를 확인하였다. Park and Kim (2002)에 따르면, 손잡이로 전달되는 진동은 엔진과 작업부에서 발생한다.

기존 연구들은 모두 엔진에서 발생하는 진동에 초점을 맞춰 손 진동을 평가하거나 방진 장치를 통해 진동을 감소시키는 연구가 주를 이루고 있고, 제초기에 있어서 진동원이 되는 작업부 구조를 변경하여 손 진동을 줄이고자 하는 연구는 미비하다.

## 마. 로터리식 경운날의 형상 연구

로터리 경운날은 크게 트랙터용 경운날, 경운기용 경운날로 나눌 수 있고 (Kim et al., 1997), 두 경운날은 형상과 치수의 차이가 있다(KS, 2012; KS, 2013). 일반적으로 트랙터용 경운날은 L형과 C형이 있으며, C형은 L형에 비해 동력 소모가 적고 토양 쇄토에 장점이 있지만, 풀이 감기는 단점이 있다(Jeong and Kim, 1997).

Beeny and Khoo (1970)는 3종의 경운날(Fig. 9)에 대한 실험을 수행하였는데, 본래 경운날의 목적인 토양을 분쇄하여 숙고, 농기계의 견인을 돕는 역할을 대상으로 분석하였다. 그 결과 I형이 소요동력은 가장 적지만, 미끄러져서 경운의 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. L형은 농기계에 가장 큰 추진력을 제공하면서 작업 효과도 컸다고 한다. 하지만 축에 걸리는 토크가 가장 심해 동력 소모가 가장 크다는 단점이 있는 것으로 나타났다.

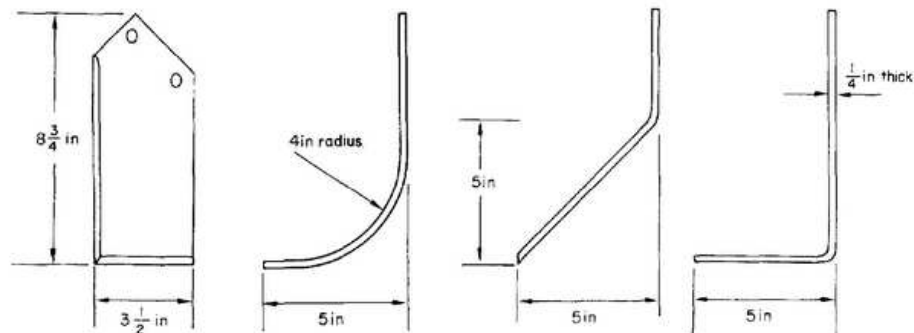
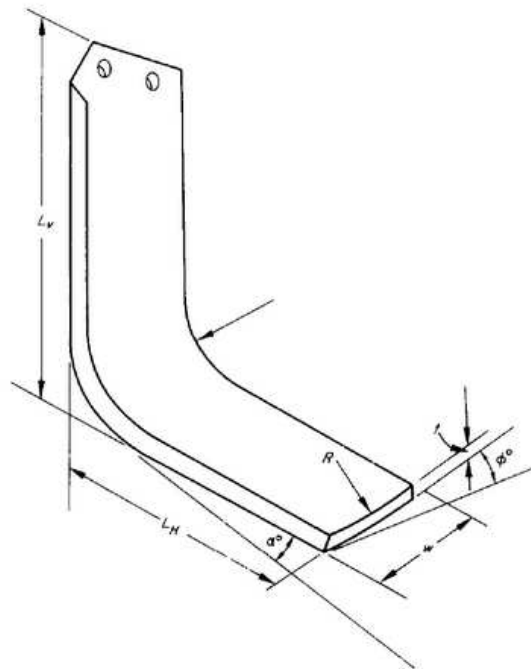


Fig. 9 Experimental blade shape (Beeny and Khoo, 1970)

Lee et al. (2003)은 로터리 날의 모양과 회전방향, 로터리 날의 수 등의 요인에 따라 경운 효과가 어떻게 달라지는지에 대한 실험을 하였다. 로터리 날은 기존에 생산되는 일반 트랙터용, 일반 경운기용, 논 평탄화 작업용, 세 종류로 비교 실험을 하였다. 이 중 트랙터용 로터리 날이 토양 분쇄율이 가장 낮고 축에 걸리는 토크가 가장 높다는 결과를 얻었으나, 형상에

대한 분석은 이루어지지 않았다. Kim et al. (1997)은 경운날을 개발하고 이를 기존에 생산되는 경운기용과 트랙터용 양산품과 경운부하 성능을 비교하였다. 또한 MAFRA (2002)는 에너지를 절감하기 위한 트랙터용 경운날에 관한 연구를 수행하는 등 경운날 연구는 부하와 에너지에 관한 것이 많음을 알 수 있다.



**Fig. 10** A typical rotary cultivator blade showing design parameters (Beeny and Khoo, 1970)

Beeny and Khoo (1970)에 따르면 경운날의 형상의 설계 요소는 총 8종으로 각 요소의 설계 방법에 따라 경운 효과가 다르게 나타난다고 하였다(Fig. 10).  $L_v$ 는 수직 길이로 경운 깊이에 관여하고,  $L_H$ 는 수평 길이로 경운 폭에 관여한다. 각도  $\alpha$ 는 경운날이 받는 비틀림 모멘트를 줄여주고,  $R$ 과 각도  $\phi$ 는 경운날이 흙을 누르는 것에 관여하며 동력을 줄일 수 있다고 한다.

이처럼 로터리식 제초날과 형태가 유사한 경운기의 경운날의 형상과 설계에 관한 연구는 주로 경운 작업 성능과 경운기에 제공하는 추진력에 관한 것이 많이 이루어졌다. 반면에 Beeny and Khoo (1970)은 경운날이 토양을 누르는 설계 인자를 제시하였지만, 동력 소모에 관한 것만을 언급하였다. 따라서 경운날이 토양의 반력을 받아 경운기 손잡이에 전달되는 진동에 관한 연구는 이루어지지 않았다.

### 3. 재료 및 방법

#### 가. 제초날 설계 파라미터

본 연구에서의 제초날도 기본적으로는 로터리 날과 같이 유사한 과정으로 동력을 전달받아 움직인다. 또한 본 제초날은 로터리 날과 같이 회전하는 디스크의 끝에 부착되어 움직일 수 있도록 설계하였다(Fig 11). 하나의 디스크에는 총 네 개의 제초날이 부착되어 있으며, 디스크별로 다양한 제초날 설치 각도( $\theta_{FM}$ )를 갖도록 하였다.  $\theta_{FM}$ 은 제초날 등과 디스크 접선이 이루는 각도로, 제초날을 설계할 때 다른 파라미터와 달리 비교적 쉽게 변경이 가능한 파라미터이다.

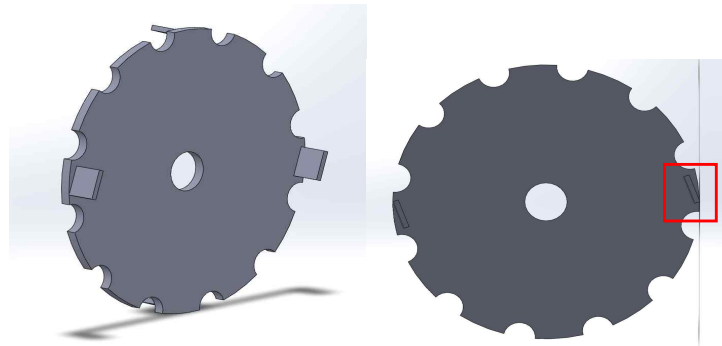
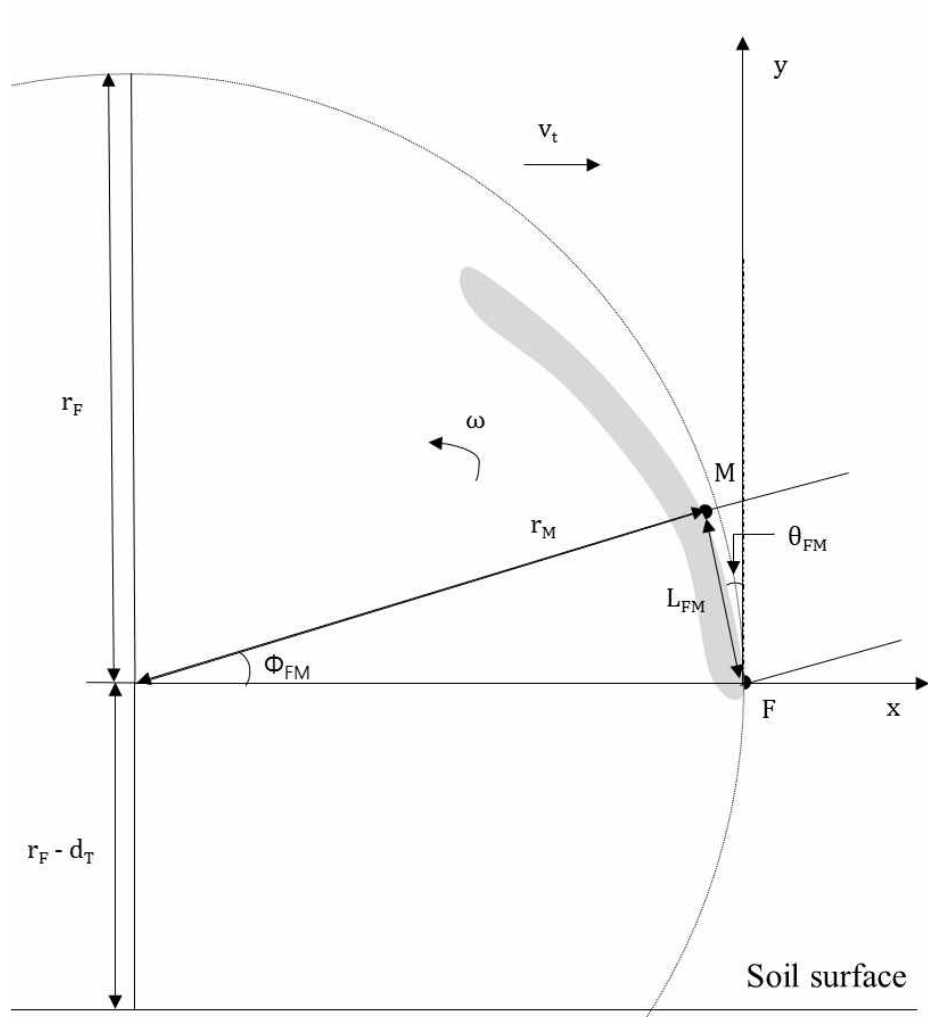


Fig. 11 Rotary weeding blade attached to disk

Fig. 11의 우측 그림을 중심으로 본 연구에서 정한 설계 파라미터는 Fig. 12와 같다. 제초날의 폭은 그 길이에 따라 모양으로부터 받는 반력이 달라질 수 있으나, 이는 디스크의 개수와 전체 제초 작업폭과 관련이 있으므로 본 연구의 파라미터로 고려하지 않았다.



**Fig. 12** Design and dynamic parameters on the rotary blade

$r_{F,M}$  : radius of the points denoted F and M (mm)

$L_{FM}$  : length of cutting part (mm)

$\theta_{FM}$  : installation angle ( $^{\circ}$ )

$\omega$  : angular velocity of disk (rpm)

$v_t$  : translational velocity (mm/s)

$d_T$  : target weeding depth (mm)

$\Phi_{FM}$  : initial angle of point M ( $^{\circ}$ )

설계 파라미터는 총 6개로 동역학적 파라미터 2개, 설계 파라미터 4개로 설정되었다. 동역학적 파라미터는 디스크의 각속도( $\omega$ ), 제초기의 전진속도( $v_t$ )이고, 설계 파라미터는 목표 제초 깊이( $d_T$ ), 작업부 길이( $L_{FM}$ ), 디스크 반경( $R_F$ ), 앞에서 언급한  $\theta_{FM}$ 이다.

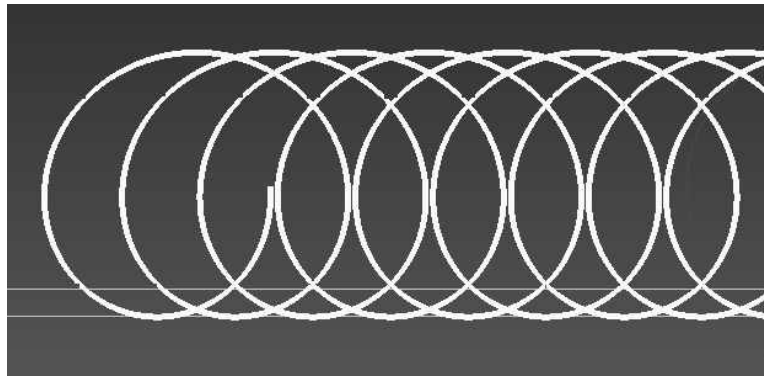


Fig. 13 Trochoid trace of point F on weeding blade

Fig. 13은 시뮬레이션 상에서 제초날의 선단 F의 궤적이고, 이는 트로코이드 곡선으로 그려진다. 트로코이드 곡선은 회전운동을 하는 디스크가 미끄러지면서 전진운동을 동시에 할 때 디스크 위의 임의의 점이 그리는 궤적으로, 회전운동을 하면서 미끄러지지 않고 굴러가는 디스크 위의 임의의 점이 그리는 사이클로이드 곡선과는 다르다. 본 연구의 보행형 로터리식 제초기는 로터리의 회전운동과 별개로 작업자가 보행하면서 핸들을 통해 전진속도를 제어한다. 따라서 디스크 위의 한 점의 궤적은 식 (1)과 같은 트로코이드 곡선이 된다.

$$x(t) = R\cos\omega t + v_t t, \quad y(t) = R\sin\omega t \dots\dots\dots (1)$$

where,  $x(t), y(t)$ : x or y-coordinate of point  
 $R$  : rotation radius (m)  
 $\omega$  : rotational velocity (rad/s)  
 $v_t$  : translational velocity (m/s)  
 $t$  : time (s)



## 나. 진동 실험

본 실험은 다양한 설치각도를 가진 제초날과 디스크를 제작하여 앞에서 이론으로 도출한 결과를 실제 실험을 통해 검증하기 위한 것이다. 상방향 반력 발생에 관계되는 제초날의 6개의 파라미터 중, 2개의 파라미터(설치각도, 전진속도)를 변수로 하고 나머지 4개의 파라미터는 상수로 두었다. 상방향 반력을 감소시키는 효과는 손잡이로 전달되는 진동을 측정하여 평가하였다. 일반적으로 손잡이로 전달되는 진동의 진동원은 크게 엔진과 작업부로 구분된다(Park et al., 2004). 따라서 작업부에서 발생하는 반력은 손잡이에 전달되는 진동에 영향을 미칠 것으로 보인다. 또한 손잡이로 전달되는 진동을 측정하는 방법은 ISO 5349:1을 따랐다.

기타 자세한 실험 재료나 방법은 이하와 같다.

### 1) 제초날과 보행형 제초기

제초기의 날은 설치각도를 달리하여 총 3종으로 제작하였다. 제초날이 부착되는 디스크의 반경은 145 mm, 길이는 10 mm로 제작하였다. 제초날의 설치각도는 각각 0, 4, 8° 로 제작하였고, 한 디스크에 네 개의 제초날이 부착되었다. 제초날이 부착된 디스크의 모습은 Fig. 14와 같다.



**Fig. 14** Rotary disk and weeding blade assembly, side view (right) and front view (left)

제조날 실험을 위해 제작한 제조날은 보행형 관리기인 KT-400 (Kawashima, Japan)에 부착하였다. 관리기의 엔진은 TB43 (Mitsubishi, Japan) 제품으로 2행정 단기통 엔진이다. 엔진을 포함한 관리기의 주요 제원은 Table 1과 같다.

**Table 1** Specification of KT-400 weeding cultivator

Item	Content
Model	Kawashima KT-400
Size	100 x 47 x 97 cm (LxWxH)
Weight	10.3 kg
Engine	Mitsubishi TB 43 (1.25 kW), 9,000 rpm Air-cooled, 2-cycle, gasoline engine 42.7 cc of displacement

보행형 관리기에는 총 4개의 디스크가 부착된다. 작업 너비는 300 mm로 국내 밭에 적용하기에 용이하다. 디스크가 부착된 모습은 Fig. 15와 같다.



**Fig. 15** View of test weeding cultivator

## 2) 실험 장소 및 조건

제초날의 진동 측정 실험은 수원 소재의 서울대학교 부속 농장에서 실시하였다(Fig. 16). 실험을 진행한 논은 수확 후에 그루터기만 남아있는 곳으로 실험 오류를 줄이기 위해 그루터기 사이에서 진행하였다.



Fig. 16 Test site for hand vibration measurement

토양 경도계(Spectrum Technologies Inc., USA)로 측정한 시험 포장의 토양 경도는 954.6 kPa로, 건량 함수율은 27.8%로 나타났다. 토성은 National Instrumentation Center for Environmental Management (NICEM)에 의뢰하여 미농무성 기준(UADA, 2013)에 따라 분석한 결과 Table 2에 나타낸 것과 같이 미사질 양토였다.

Table 2 Soil texture of test site for hand vibration measurement

Sample	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil Texture
1	27.06	67.49	5.45	Silt Loam
2	23.25	71.32	5.43	Silt Loam
3	36.92	59.18	3.90	Silt Loam
4	22.68	72.32	5.00	Silt Loam
5	33.30	62.22	4.48	Silt Loam

### 3) 실험 방법

본 실험에서는 2개의 변수 파라미터인 설치각도와 전진속도를 달리하며 실험하였다. 설치각도는 총 세 가지이고 각 실험마다 동등하게 설정할 수 있다. 전진속도는 15 m의 동일한 거리를 일반 초시계로 소요시간을 산정하여 속력을 구하였다. 제초날의 길이(10 mm)나 디스크 반경(145 mm)은 정해진 요소이기 때문에 실험마다 동일하다. 디스크 회전 속도는 350 rpm으로 하였으며, 실험 전 촬영한 동영상의 프레임을 분석하여 산정하였다. 실험 시에는 동영상 촬영 시와 같은 디스크 회전속도를 갖도록 엑셀레이터를 동일한 위치로 설정하였다. 시험구 배치는 Fig. 17과 같다.

<b>8S</b>	<b>4S</b>	<b>0S</b>
<b>0S</b>	<b>8S</b>	<b>4S</b>
<b>4S</b>	<b>0S</b>	<b>8S</b>
<b>0M</b>	<b>8M</b>	<b>4M</b>
<b>4M</b>	<b>0M</b>	<b>8M</b>
<b>8M</b>	<b>4M</b>	<b>0M</b>
<b>4F</b>	<b>0M</b>	<b>8F</b>
<b>8F</b>	<b>4F</b>	<b>0M</b>
<b>0M</b>	<b>8F</b>	<b>4F</b>

**Fig. 17** Experimental plot design for hand vibration experiment  
(installation angle: 0, 4, 8° , speed: Slow, Medium, Fast)

#### 4) 진동 측정 장비

본 연구에서는 3축 가속도계인 3273A1T (Dytran Instruments Inc., USA)를 트랜스듀서로 활용하였다(Fig. 18). 해당 가속도계는 축별로 받은 가속도를 읽어 일정 전압 값으로 출력하며, 축당 출력 전압은 x축 10.35 mV/g, y축 9.94 mV/g, z축 10.25 mV/g이다. 해당 값은 프로그램 상에 상수로 입력되어 프로그램에서는  $m/s^2$ 의 단위로 출력되도록 하였다.



Fig. 18 Tri-axial accelerometer, 3273A1T (Dytran, 2013)

아날로그 신호를 받아 디지털 신호로 변환하고 다양한 신호처리를 하는 데이터 수집 장비는 NI 9234 모듈(National Instruments, USA)을 활용하였다(Fig. 19). 이 모듈은 새시(NI cDAQ-9178)와 함께 작동하며, 해당 신호를 USB를 통해 노트북으로 전달하는 역할을 한다. NI 9234 모듈의 자세한 사양은 Table 3과 같다.

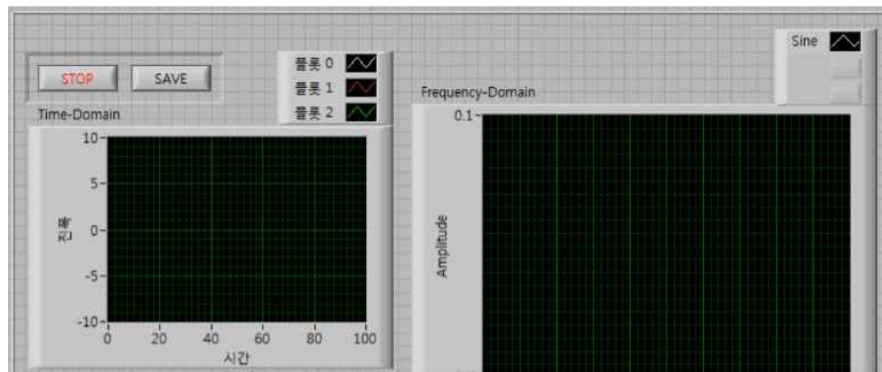


Fig. 19 NI 9234 data acquisition module (NI, 2013)

**Table 3** Specifications of data acquisition module for hand vibration measurement (NI, 2013)

Parameter	Content
Model	NI 9234 Compact DAQ
Channel	4
Sample rate	51.2 kS/S
Analog input range	-5 ~ 5 V
Measurement type	Accelerometer, Microphone

측정 프로그램은 LabVIEW 2009 (National Instruments, USA)를 활용하여 개발하였다(Fig. 20). 프로그램은 데이터 수집 장비에서 보낸 데이터를 시간-가속도 차트로 보여주고, 고속 푸리에 변환을 통해 주파수-가속도로 변환, 차트를 보여주고 해당 정보를 파일 형태로 저장한다.



**Fig. 20** Measurement program based on LabVIEW 2009

5) 진동 측정 방법 및 데이터 처리과정 (ISO 5349:1)

ISO 5349:1는 손잡이로 전달되는 손 진동을 측정하고 데이터를 처리하는 방법에 대한 내용을 제공하는데 이 표준에는 2가지 형태의 손잡이가 제시되어있다. 보행형 제초기의 핸들은 Fig. 21과 같은 “Handgrip” 형태이다. 가속도계는 Fig. 21과 같은 좌표로 진동이 측정되도록 접착제를 이용하여 손가락 사이에 위치하도록 Fig. 22와 같이 핸들에 부착하였다.

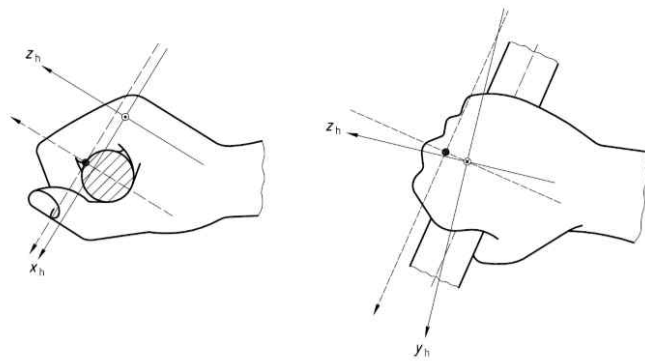


Fig. 21 Coordinate system of “Handgrip” position (ISO, 2001)



Fig. 22 Accelerometer attached to handle

실험은 각 시험구별로 15초 이상 진행되었으며, 모든 시험구의 조건을 동등하게 중간 부분의 15초의 데이터만을 활용하였다. 1초의 데이터는 하나의 스펙트럼 형태로 주어진다. 각 실험별 총 20개의 데이터를 스펙트럼별로 평균하여 하나의 스펙트럼을 구하고, 그 중 표준에 맞게 6.3 ~ 1,250 Hz의 스펙트럼을 1/3 옥타브 밴드로 나눠 24개의 주파수와 그에 해당하는 가속도 값을 구하였다. 주파수별로 인체에 미치는 영향이 다르므로, 각 주파수별 가속도는 식 (2)와 같이 특정 가중치를 곱하여 구하였다.

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (W_{hi} a_{hi})^2} \dots\dots\dots (2)$$

where,  $a_{hw}$  : root-mean-square (r.m.s.) single-axis acceleration value of the frequency-weighted hand-transmitted vibration ( $m/s^2$ )  
 $W_{hi}$  : weighting factor for  $i$  th 1/3 octave band  
 $a_{hi}$  : rms acceleration measured in  $i$  th 1/3 octave band ( $m/s^2$ )

주파수 가중치는 ISO 5349:1에서 제공하고 있으며, 각 주파수별로 최대 0.958에서 최소 0.00295의 상수로 이루어져 있다. 12.5Hz에서 최대 가중치로 나타나고 고주파일수록 그 가중치가 작아진다. 실험구의 주파수 가중 가속도인  $a_{hv}$ 는 식 (3)과 같이 구한다.

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hw,x}^2 + a_{hw,y}^2 + a_{hw,z}^2} \dots\dots\dots (3)$$

where,  $a_{hv}$  : vibration total value of frequency-weighted r.m.s. acceleration ( $m/s^2$ )  
 $a_{hw,x}, a_{hw,y}, a_{hw,z}$  : values of  $a_{hw}$  for the axes denoted x, y and z respectively ( $m/s^2$ )



주파수 가중 가속도를 활용하여 1일 진동 노출량인  $A(8)$ 을 구할 수 있는데, 1일 진동 노출량은 하루 8시간 사용을 기준으로 하여 다음 식으로 구한다.

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \dots\dots\dots (4)$$

where,  $A(8)$  : the daily vibration exposure ( $m/s^2$ )  
 $a_{hv}$  : vibration total value of frequency-weighted r.m.s. acceleration ( $m/s^2$ )  
 $T$  : the total daily duration of exposure to the vibration  
 $a_{hv}$   
 $T_0$  : the reference duration of 8h (28,800 sec)

평균 진동 노출기간( $D_y$ )은 해당 기계를 사용하는 사람의 10%가 수지백 중에 걸릴 때까지의 기간을 의미한다. 이는 식 (5)와 같이 1일 진동 노출량을 통해 구한다.

$$D_y = 31.8 [A(8)]^{-1.06} \dots\dots\dots (5)$$

where,  $A(8)$  : the daily vibration exposure ( $m/s^2$ )  
 $D_y$  : the group mean total (lifetime) exposure duration (year)

#### 6) 데이터 분석

앞의 이론에서의 상방향 반력 발생 조건과 본 실험에서의 실제 주파수 가중 가속도를 비교하였다. 통계처리는 R 3.0.1 (R Foundation for Statistical Computing, Austria)을 활용하였고, T검정을 수행하였다. 또한 평균 진동 노출시간을 두 그룹별로 비교하여 기간이 얼마나 증가하였는지 확인하였다.

## 다. 제초 성능 실험

제초 성능은 제초기의 가장 중요한 성능으로 제초율을 기준으로 평가한다. 제초 성능 실험은 농촌진흥청의 동력 중경제초기 시험 방법과 검사 기준(RDA, 2004)에 준하여 실시하였으며, 제초율은 본수조사로 하였다.

### 1) 실험 장비 및 포장 정보

실험 장비는 앞의 제초날 평가 실험에 사용한 것과 동일한 구조로서 제초날의 설치각도는 가장 반력이 적은 8° 로 고정하여 사용하였다. 포장은 경북 영주시에 있는 밭에서 수행하였으며 토양 경도는 약 1,150 kPa로 나타났고 토성은 미농무성 기준(USDA, 2013)에 따라 미사질 양토에서 사양토 인 것으로 나타났고(Table 4), 건량 기준 함수율은 14%였다.

**Table 4** Soil texture of test site for weeding performance evaluation

Furrow	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil Texture
1	61.40	36.41	2.19	Sandy Loam
2	44.41	52.87	2.72	Silt Loam
3	44.95	52.63	2.42	Silt Loam
4	57.05	41.06	1.89	Sandy Loam
5	40.38	57.24	2.38	Silt Loam

2) 실험 방법

실험은 포장의 5고랑을 선정하여 실험하였고, 고랑별 10개 시험구, 총 50개 시험구를 대상으로 하였다(Fig. 23).

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10

Fig. 23 Experimental design of field test for weeding performance

시험구 크기는 400 x 300 mm로 하였고, 우드락 재질의 시험구 틀을 제작, 이를 기준으로 시험구 내의 잡초의 본수를 세었다. 제초 작업 후 같은 방법으로 해당 시험구 내의 잡초의 본수를 세어 식 (6)와 같이 제초율을 산정하였고 평균 제초율을 계산하였다.

$$Weeding\ Ratio\ (\%) = \left(1 - \frac{W_{after\ cultivating}}{W_{before\ cultivating}}\right) \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

RDA (2004)에 따르면, 제초율은 80% 이상이 되어야 하므로, 평균 제초율을 산정하여 본 제초날이 이를 만족하는지 확인하였다.

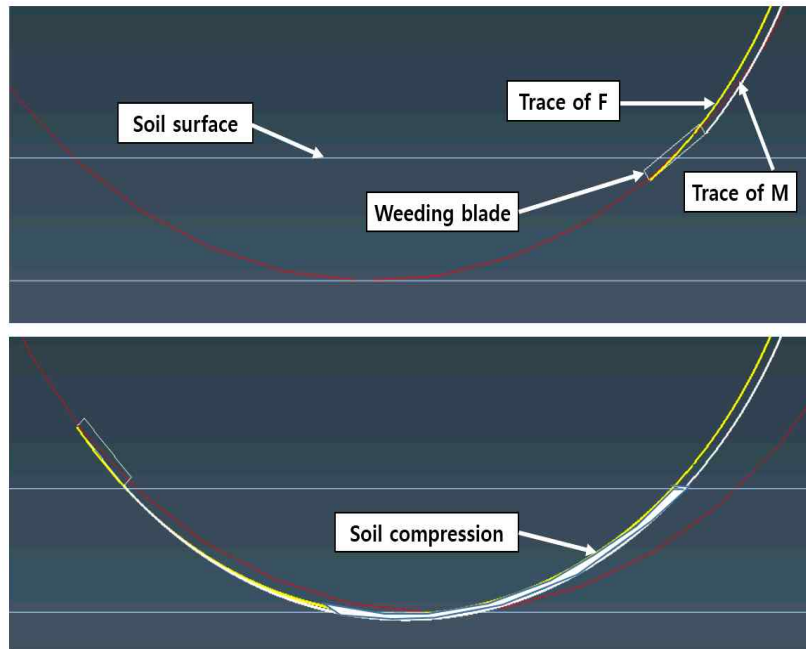
## 4. 결과 및 고찰

### 가. 제초날 설계 방안

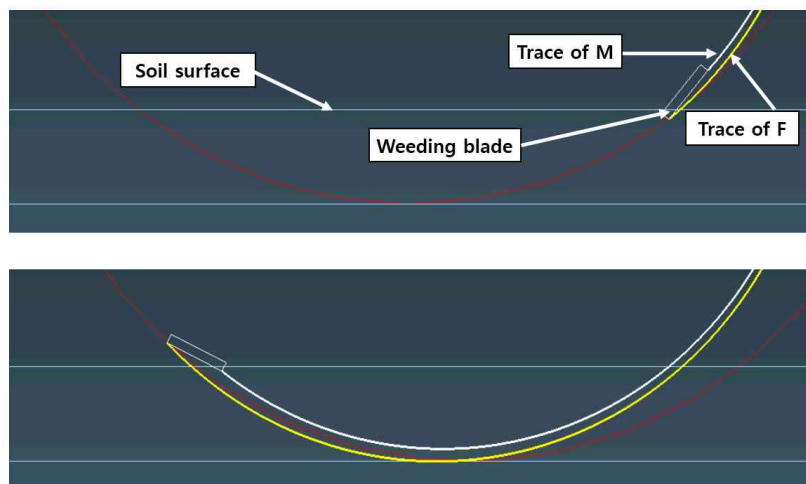
본 연구에서는 제초날의 설치각도에 따라 토양 표면을 절삭하고 들어가는 양상과 반력 여부를 판단하기 위해 동역학 해석 프로그램인 RecurDyn V7R5 (Function Bays, Inc., Korea)을 활용하여 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션은 실제 디스크와 제초날의 크기를 적용하여 모델을 만들고, 제초 깊이를 30 mm로 하였다. 디스크의 회전속도와 전진속도를 부여하고, 디스크에 부착된 제초날의 F와 M의 궤적을 확인할 수 있도록 하였다.

Fig. 24는 디스크 반경이 145 mm, 제초 깊이는 30 mm이고, 전진속도 0.4 m/s, 디스크 회전속도 350 rpm에서 제초날의 설치 각도가 0° 일 때와 같은 조건에서 설치 각도가 15° 일 때의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 토양 안에서 제초날이 지나가는 궤적이 나타나 있는데, M의 궤적이 F의 궤적보다 전진 방향에 있는 경우, 토양 표면 아래에서 궤적 역전이 생기는 것을 알 수 있다. 두 점의 초기 y좌표가 다르기 때문에, 동일한 y좌표에 닿는 시간이 달라지고, 그 시간만큼 디스크의 전진속도에 영향을 받아 같은 y좌표에서의 두 점의 x좌표는 토양에 들어갈 때와 나올 때 달라진다.

시뮬레이션을 통해 확인한 결과, 제초날이 토양 표면에 진입할 때의 M의 궤적이 F의 궤적보다 전진방향에 있는 경우, 토양 내부에서는 두 궤적이 교차하는 것을 알 수 있었다. 반대로 M의 궤적이 F의 궤적보다 전진방향의 반대쪽에 있는 경우, 토양 내부에서 궤적 교차가 일어나지 않으며 M의 궤적은 F의 궤적 안쪽에 위치하여 경운토양을 지나가는 것을 알 수 있다. 토양 내부에서 두 궤적이 교차하는 경우, 제초날의 등이 미경토를 눌러 상방향 반력을 발생시킨다. 이는 Beeny and Khoo (1970)의 연구와 유사하나, 본 연구에서는 앞의 연구에서 제시한 2개의 파라미터 외에 전진속도, 디스크 회전속도, 제초 깊이, 디스크 반경을 추가로 고려하였다.



(a) Installation angle:  $0^\circ$



(b) Installation angle:  $15^\circ$

**Fig. 24** Simulation result when translational velocity was 0.4 m/s, disk angular velocity was 350 rpm, weeding depth was 30 mm and disk radius was 145 mm

본 시뮬레이션을 통해 제초날의 반력 발생은 제초날이 토양 표면에 진입할 때 두 궤적의 상대적인 위치에 따라 확인할 수 있다는 것을 알았다. 따라서 F의 궤적을 M의 궤적보다 전진방향 쪽으로 오도록 하면, 제초날 등이 미경토를 눌러 발생하는 불필요한 상방향 반력 발생을 방지할 수 있을 것으로 보인다.

Fig. 25는 Fig. 12에서 정의한 점 F와 M의 궤적과 토양 표면을 보여준다. 제초날 상의 두 점이 토양 표면에 닿을 때의 상대적인 위치를 나타내는 지수를  $X_{MF}$ 라고 하였으며 설명의 편리성을 위하여 제초날 표면의 두 궤적간 거리라고 칭하였다.  $X_{MF}$ 가 0보다 작은 경우 M의 궤적이 F의 궤적보다 전진방향에 있고, 이 경우 제초날 등이 미경토를 눌러 불필요한 발생을 발생시킨다.

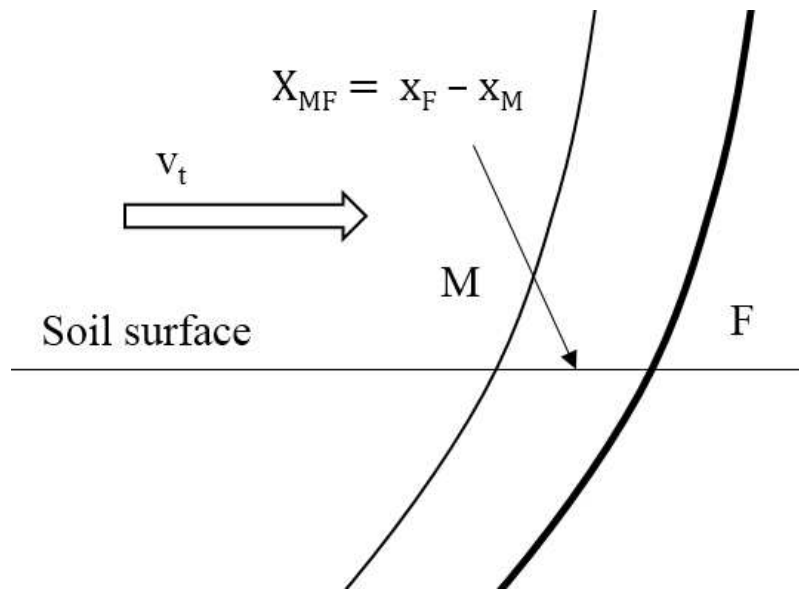


Fig. 25 Trace of two points F and M on a blade

$X_{MF}$  : Trace gap between F and M on soil surface

F와 M의 궤적은 식 (1)을 토대로 시간에 대한 함수로 나타낼 수 있다.  $X_{MF}$ 가 발생하는 첫 번째 이유는 두 점의 회전 반경이 다르기 때문이다. 따라서 M의 회전반경이 F에 비해 작을수록, 즉 설치각도가 클수록 M의 궤적이 F의 궤적보다 상대적으로 진행방향의 뒤쪽에 위치할 수 있다. 두 번째 이유는 M이 F에 비해 M의 초기위치 각도인  $\Phi_{FM}$ 만큼 더 움직여야 토양 표면에 닿기 때문이다. 그렇기 때문에, 회전 반경이 디스크의 각속도가 클수록, 전진속도가 작을수록 M의 궤적이 F의 궤적보다 상대적으로 진행방향의 뒤쪽에 위치할 수 있다. M의 반경( $r_M$ )과  $\Phi_{FM}$ 은 기본 설계 파라미터로 표현할 수 있고, 식 (7), 식 (8)과 같다.

$$r_M = \sqrt{L_{MR}^2 + r_R^2 - 2L_{MR}r_R \sin\theta_{MR}} \dots\dots\dots (7)$$

$$\Phi_{FM} = \sin^{-1} \frac{L_{FM} \cos\theta_{FM}}{r_M} \dots\dots\dots (8)$$

where, All variables are shown Fig. 12

F와 M이 토양 표면에 닿을 때 걸리는 시간은 디스크 반경, 초기 위치 각, 디스크 각속도, 제초 깊이에 따라 달라지며, 각각 식 (9), 식 (10)로 구한다.

$$t_F = \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{d_T - r_F}{r_F}\right) \omega^{-1} \dots\dots\dots (9)$$

$$t_M = \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{d_T - r_F}{r_M} - \Phi_{FM}\right) \omega^{-1} \dots\dots\dots (10)$$

where,  $t_F$  : time when point A reach soil surface (s)

$t_M$  : time when point B reach soil surface (s)

The other variables are shown equation (7), equation (8) and Fig. 12



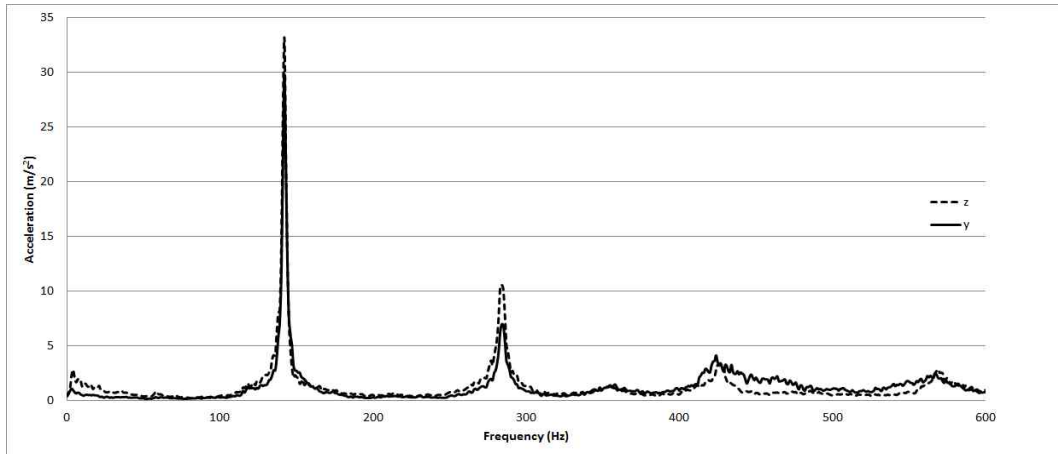
식 (9)와 (10)에서 구해진 시간을 식 (1)에 대입하면,  $X_{MF}$ 를 구하는 식 (11)이 유도된다.

$$X_{MF} = r_F \cos(\omega t_F) + v_t t_F - r_M \cos\left(\omega\left(t_M + \frac{\Phi_{FM}}{\omega}\right)\right) + v_t t_M \dots \dots \dots (11)$$

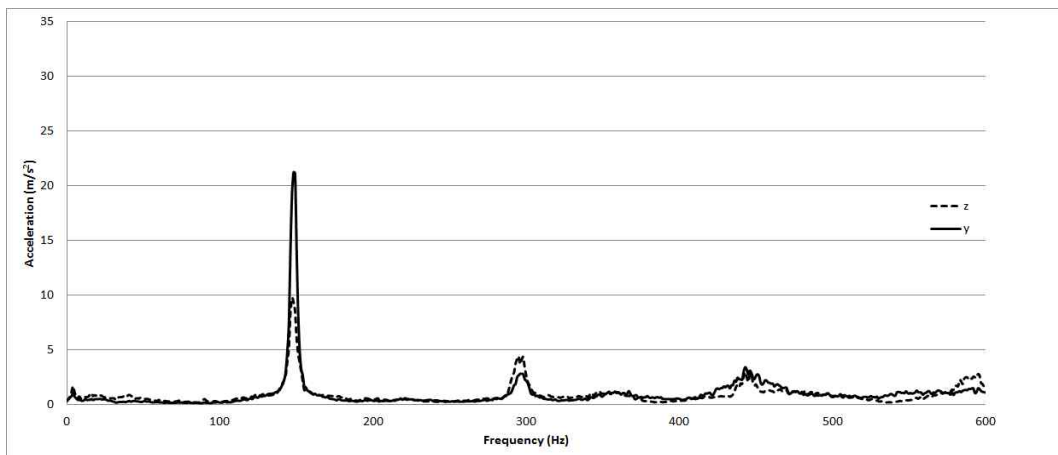
where,  $t_F$  : time when point A reach soil surface (s)  
 $t_M$  : time when point B reach soil surface (s)  
 The other variables are shown equation (7), equation (8) and Fig. 12

## 나. 진동 실험

### 1) 진동 스펙트럼



(a) Negative group ( $X_{MF} < 0$ )



(b) Positive group ( $X_{MF} > 0$ )

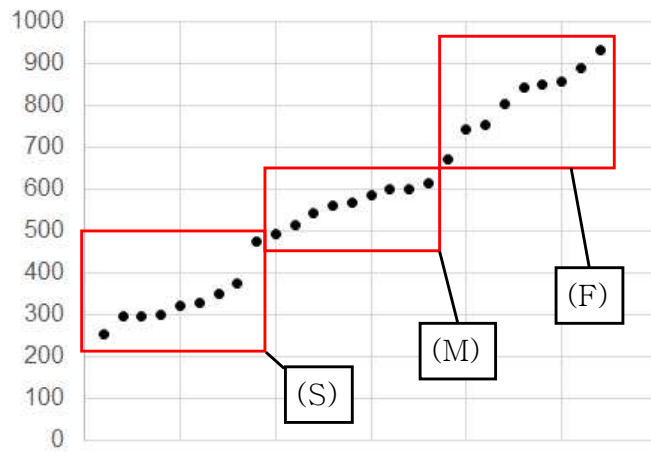
Fig. 26 Hand vibration spectrums in the y and z axis

$X_{MF}$ 가 0보다 작을 때와 클 때의 진동 스펙트럼의 예를 Fig. 26에 비교하였다. 진동 성분 중 x축 성분은 진동이 거의 0으로 나타나 표시하지 않았다. y축과 z축을 비교한 결과  $X_{MF}$ 가 0보다 작은 경우에 두 축 모두 진동이 크게 나타난 것을 확인하였다. z축의 경우, 같은 조건에서 y축보다 진동이 더 크게 나타난 것을 알 수 있는데, 이는 y축의 진행방향의 좌우 진동보다 z축은 제초기의 수직방향 진동이 더 크게 나타난 것을 알 수 있다. 따라서 상방향의 반력을 감소시키면 제초기의 손잡이에서 전달되는 진동을 줄일 수 있음을 Fig. 26은 나타낸다.

## 2) $X_{MF}$ 계산

제초기가 15m 거리를 작업할 때 걸린 시간은 Fig. 27에 나타낸 바와 같이 “빠른” 속도에서 16.1 ~ 22.4 s, “중간” 속도에서 24.4 ~ 30.4 s, “느린” 속도에서 31.7 ~ 59.5 s로 나타났다. “빠른” 속도에서 최대 소요 시간과 “중간” 속도에서의 최소 소요 시간은 2 s, “중간” 속도에서의 최대 소요 시간과 “느린” 속도에서의 최소 소요 시간은 1.3 s로 나타났는데, 이는 같은 종류 속도 내에서 최대 소요 시간과 최소 소요 시간의 차이 (“빠른” 속도: 6.3 s, “중간” 속도: 6 s, “느린” 속도: 27.8 s)보다 작다. 따라서 속도 타입과 시험구 배치에 따른 해석이 불가하여 각 시험구별로  $X_{MF}$ 와  $a_{hv}$ 를 직접 비교하였다.

각 실험에 따른 각도와 소요 시간에 따른 전진속도를 바탕으로 구한  $X_{MF}$ 는 Table 5과 같다. 여기서 디스크 회전속도는 350 rpm, 제초날 두 점의 사이 거리는 10 mm, 디스크 반경은 145 mm로 하였다. 제초 깊이는 포장의 상태와 제초 깊이를 조절하는 별도의 수단이 없었기 때문에 농촌진흥청에서 제시하는 제초 깊이인 30 mm로 할 수 없었다. 본 실험은 진동실험이기 때문에 제초 깊이를 반드시 30 mm로 하지 않아도 된다고 판단하고, 실험 후 실제 측정된 깊이 10 mm를 계산에 활용하였다. 설치각도가 크고, 전진속도가 작은 경우  $X_{MF}$ 가 작는데, Asl and Singh (2009)의 연구와 Dewangan and Tewary (2009)의 연구에서도 유사한 결과가 나타났다.



**Fig. 27** Speed of cultivator with three kinds of speed  
 (S: Slow speed, M: Medium speed, F: Fast speed)

**Table 5** Result of calculation  $X_{MF}$  with six factors

Installation angle (°)	Forward velocity (mm/s)	$X_{MF}$ (mm)
0	328.95	-1.5948
	300	-1.5369
	321.89	-1.5807
	493.42	-1.9239
	515.46	-1.9679
	568.18	-2.0734
	669.64	-2.2764
	753.77	-2.4448
	742.57	-2.4223
4	375.94	0.0745
	351.29	0.1336
	473.19	-0.1586
	597.61	-0.4568
	614.75	-0.4979
	600	-0.4625
	847.46	-1.0557
	842.7	-1.0443
	802.14	-0.9470
8	252.1	2.2454
	297.62	2.1180
	295.28	2.1246
	543.48	1.4298
	559.7	1.3844
	583.66	1.3174
	857.14	0.5519
	887.57	0.4667
	931.68	0.3432

### 3) $X_{MF}$ 와 $a_{hv}$ 의 관계

실험을 통해 구한 주파수 가중 가속도를  $X_{MF}$ 의 부호에 따라 2개의 그룹으로 분류하였고, 오차를 보정하기 위해 10 ~ 90%의 백분위에 해당하는 데이터만 활용하였다(Fig. 28).

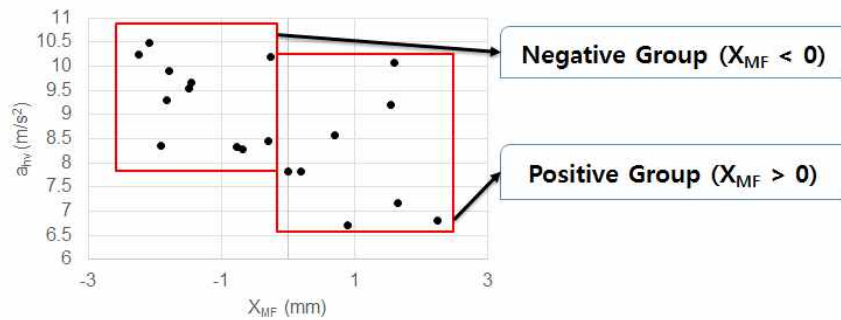


Fig. 28 Result of  $X_{MF}$  and  $a_{hv}$

$X_{MF}$ 가 0보다 큰 경우에 다른 데이터들보다 비교적 가속도가 높게 나온 2개의 시험구가 존재하였다. 이를 이상치로 가정하는 경우, 두 그룹의 통계적 차이는 매우 높게 나타났다( $p < 0.001$ ). 하지만 이상치로 가정한 두 개의 시험구의 원 데이터를 분석해본 결과, 다른 시험구와 특별한 차이점을 발견하지 못하였다. 따라서 해당 두 개의 시험구는 이상치로 추정 가능하지만, 명확한 근거가 부족하기 때문에 이상치로 단정할 순 없었다.

이상치로 추정되는 시험구를 포함한 두 그룹의 T검정 결과, 두 그룹은 통계적인 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). 이를 통해  $X_{MF}$ 의 부호에 따라  $a_{hv}$ 가 달라질 수 있다는 것을 추정할 수 있다.

4)  $D_y$  비교

평균 진동 노출 기간( $D_y$ )를  $X_{MF}$ 에 따라 비교해보았다(Table 6). 그 결과,  $X_{MF}$ 의 부호에 따라  $D_y$ 가 17.53% 증가한 것을 알 수 있었다. 이를 통해 제초날의 설치 각도에 따라 불필요한 상방향 반력이 발생하지 않는 경우에도 효과적으로 진동을 감소시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

**Table 6** The group mean total (lifetime) exposure duration depended on  $X_{MF}$  and daily using time (negative group:  $X_{MF} < 0$ , positive group:  $X_{MF} > 0$ )

daily using time (hour)	negative group (year)	positive group (year)
1	8.96	10.5
2	6.21	7.3
3	5.01	5.89
4	4.3	5.05
5	3.82	4.49
6	3.47	4.08
7	3.2	3.76
8	2.98	3.5



## 다. 제초 성능 실험

앞에서 도출된 이론과 실험을 통해 설치 각도가 커질수록 불필요한 토양 반력을 적게 받을 수 있는 가능성이 높은 것을 확인하였다. 따라서 제작한 제초날 중 가장 큰 설치 각도를 가진 8° 제초날로 실험을 하였다. 제초 작업 후, 토양에 파묻히거나 뿌리가 절단 혹은 토양 위로 노출된 잡초는 제초된 것으로 판단하였고, 이는 Kim and Kim (2007a)의 연구에도 동일한 조건으로 평가한 바 있다. 제초 성능 실험 결과 제초율은 평균 88.93% ( $\pm 5.75$ )로 나타났고, 이는 농촌진흥청의 동력 중경제초기 검사 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 시험구별 제초율 결과는 Table 7과 같고, 제초 전후 모습의 일부는 Fig. 29와 같다.

**Table 7** Result of weeding performance experiment (%)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	95.24	92.16	96.61	89.29	94.87	78.43	88.71	86.84	86.89	84.44
2	84.72	85.29	94.12	80.95	94.44	92.31	93.48	96.72	97.44	88.10
3	84.09	93.33	98.25	89.86	95.24	91.04	94.23	91.49	93.24	88.89
4	77.42	72.22	91.18	83.91	90.14	85.71	88.46	84.78	81.71	91.11
5	89.33	90.54	92.96	95.59	79.03	82.09	84.21	85.71	93.18	86.54

※ Row is furrow and column is experimental spot of each furrow

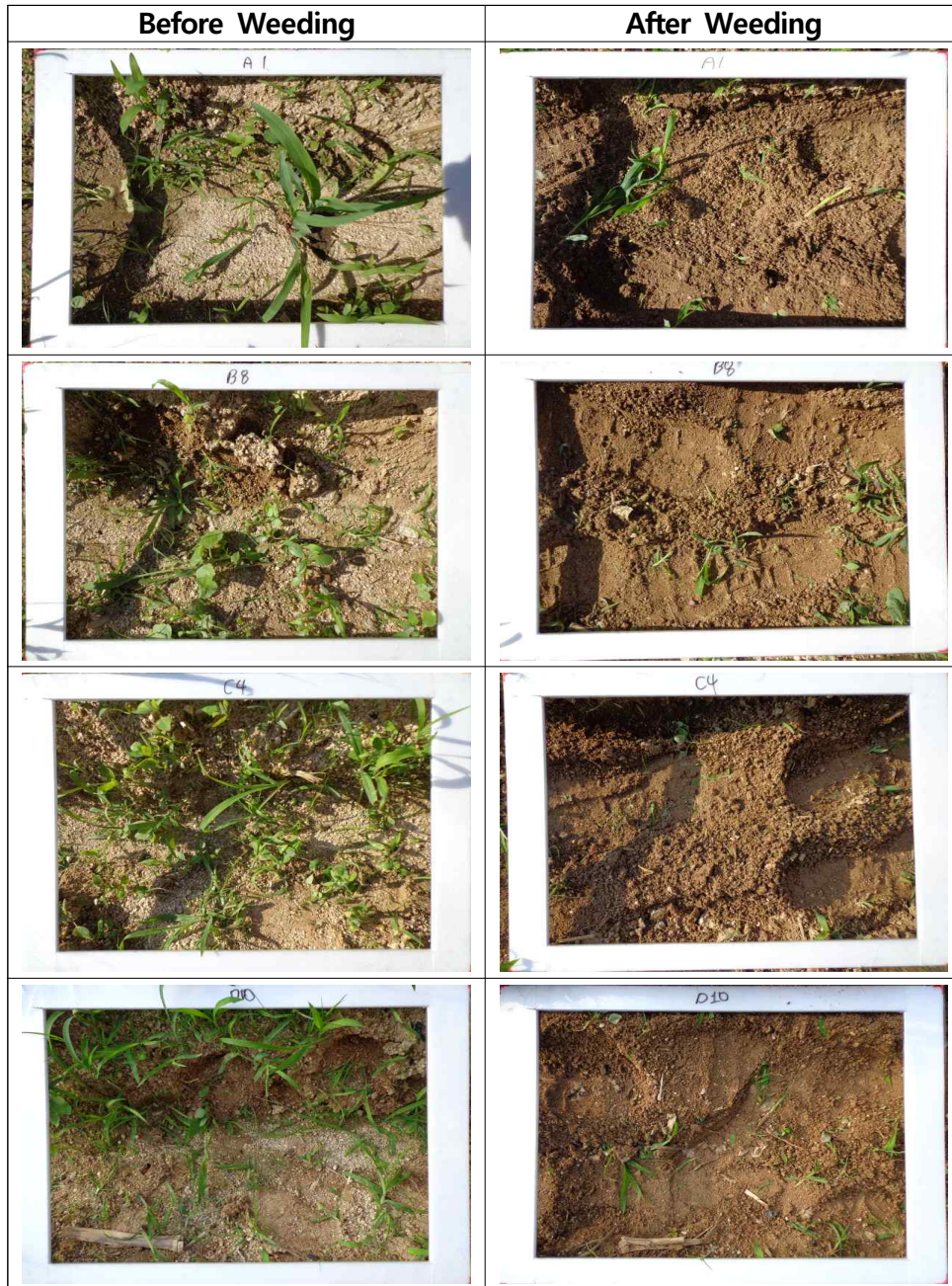


Fig. 29 View of test site, before and after weeding

## 라. 최소 설치각도 제안

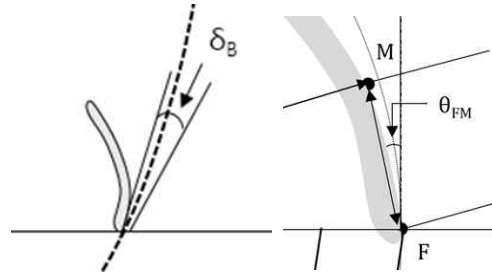


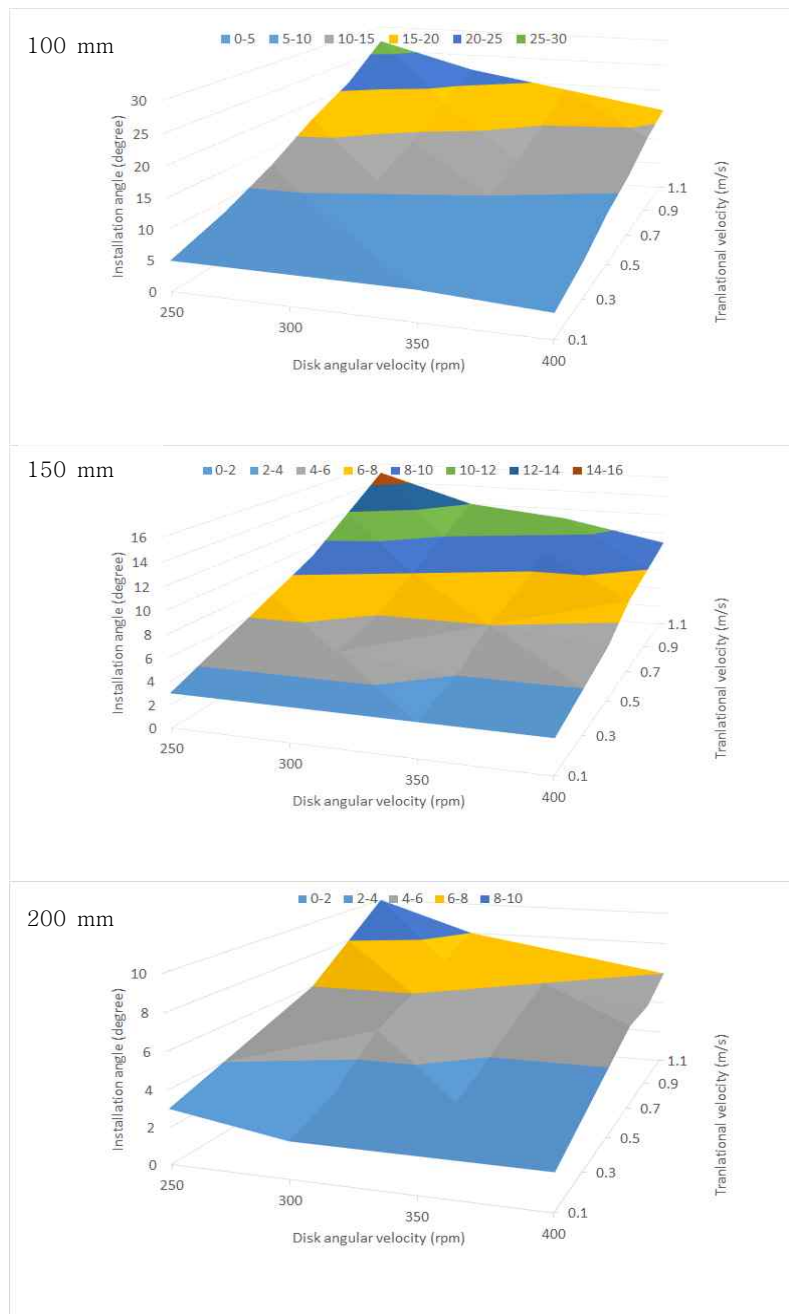
Fig. 30 Cutting angle,  $\delta_B$  (MAFRA, 2002) and installation angle,  $\theta_{FM}$

MAFRA (2002)에 따르면, 절삭각( $\delta_B$ )이  $30^\circ$  인 경우엔  $17^\circ$  의 경우보다 160~180%,  $42^\circ$  인 경우엔  $17^\circ$  의 2배 가량 동력을 소모한다고 한다. 절삭각과 설치 각도의 정의는 서로 다르지만, 그 크기는 일정한 관계가 있다(Fig. 30). 절삭각은 제초날의 면과 트로코이드 곡선의 접선 사이의 각도이고, 설치각도는 제초날의 면과 디스크 접선 사이의 각도이다. 따라서 설치각이 커지는 경우, 동력을 추가적으로 소모하므로, 적절한 제초날 설치각도 선정이 중요하다.

본 연구에서는 Table 8의 조건으로 앞에서 구한 식을 토대로 하여, 적절한 제초날 설치 각도를 찾고자 하였다. 기타 파라미터인 제초 깊이는 농촌진흥청 기준에 따라 30 mm로 고정하였고, F와 M의 거리는 10 mm로 하고, Table 8의 파라미터에 따라 최소 설치 각도를 3차원 그래프로 표시한 결과는 Fig. 31과 같다.

Table 8 Simulation variables and their values for determination of the minimum installation angle of blade

Variables	Range	Interval
disk radius	100 ~ 200 mm	50 mm
forward velocity	100 ~ 1,100 mm/s	200 mm/s
disk angular velocity	250 ~ 400 rpm	50 rpm



**Fig. 31** Recommended installation angle of weeding blade, according to disk angular velocity, translational velocity (up) and disk radius

Fig. 31을 통해 제초날의 최소 설치각도는 디스크 반경이 100 mm 일 때 4 ~ 27° , 150 mm 일 때 3 ~ 15° , 200 mm 일 때 2 ~ 10° 인 것을 알 수 있었다. 최소 설치각도는 디스크 반경이 작을수록, 디스크 회전속도가 작을수록, 제초기의 전진속도가 빠를수록 커지는 것을 알 수 있다.

따라서 제초기를 설계할 때 허용 가능한 수준으로 디스크 반경을 크게 하는 경우, 최소 설치각도를 줄일 수 있고, 이에 따라 불필요한 동력의 손실을 줄일 수 있다. 또한 빠른 전진속도를 원하는 경우, 이에 상응하는 빠른 디스크 회전속도를 갖도록 하여 최소 설치각도를 줄일 수 있다.

본 연구에서는 설계자가 정한 디스크 반경, 디스크 회전속도, 제초기 전진속도를 바탕으로 손잡이 진동을 줄일 수 있는 제초날 설치 각도를 쉽게 찾을 수 있도록  $X_{MF}$ 를 계산할 수 있는 엑셀 기반 계산기를 개발하였다(Fig. 32). 6개의 파라미터를 사용자 입력 값에 기입하는 경우,  $X_{MF}$ 가 자동으로 계산되며, 이를 바탕으로 토양 반력 발생 여부를 확인할 수 있다.

XMF Calculator			
<b>Input Variables</b>		<b>Value</b>	
Forward velocity (vt, mm/s)		400	
Disk angular velocity (ω, rpm)		350	
Weeding depth (d, mm)		30	
Disk radius (r, mm)		145	
F-M distance (x, mm)		10	
Installation angle (θ, degree)		10	
<b>Reference</b>		<b>Calculated value</b>	
Rotation radius of M(mm)		143.6016027	
Initial angle of M (rad)		0.068633032	
Time of F on soil surface (sec)		0.024988803	
Time of M on soil surface (sec)		0.02721024	
x-axis of F on soil surface		98.31312996	
x-axis of M on soil surface		96.88653943	
<b>XMF (f)</b>		<b>1.4266</b>	

Fig. 32 Calculator spread sheet(Excel 2013) for determination of the minimum installation angle

## 5. 결론

본 연구는 유기농업에서 효과적인 잡초방제를 위한 제초기 개발 연구의 일환으로 보행형 제초기의 손 진동을 줄이고자 제초날 설계 각도에 관한 이론적 고찰과 실험을 통해 이를 확인하였다.

동역학적 시뮬레이션 결과, 제초날 등이 미경토를 누르게 되면 불필요한 상방향 반력이 발생하는 것으로 판단되었다. 반력 발생 여부는 제초날이 토양에 진입할 때 제초날 상의 두 점 궤적의 상대적인 위치에 따라 확인할 수 있는 것으로 나타났다. 토양 표면에서 제초날 선단의 점이 다른 점보다 진행방향의 앞쪽에 있는 경우, 제초날 등이 미경토를 누르지 않아 반력을 발생시키지 않는다. 기하학적, 동역학적 고찰을 통해 토양 표면에서의 두 궤적 사이의 거리를 나타내는 인자를 만들었고, 해당 인자를 통해 반력이 발생하지 않는 제초날 설치 각도를 찾는 방법에 관한 연구를 수행하였다.

세 종류의 설치각도를 통해 실험한 결과, 토양 표면에서의 두 궤적 사이의 상대적인 위치가 0보다 작은 경우, 즉 불필요한 상방향 반력이 발생하는 경우와 그렇지 않은 경우 두 그룹 사이에 통계적 유의차( $p < 0.05$ )를 토양실험을 통하여 확인하였다. 이는 연구에서 토양반력이 발생하는 경우에 대한 가설을 수락한 것으로서 이를 활용하면 불필요한 토양반력을 감소시켜 손진동 감소효과를 볼 수 있다. 토양 실험에서 측정된 손진동을 불필요한 상방향 반력이 발생하는 경우와 하지 않는 경우를 비교하였을 때, 제초기 사용자 중 10%가 수지백증이 발병하는데 걸리는 시간이 17.53% 증가하는 것으로 추정되었다.

개발한 제초날 중 가장 진동이 적은 설치 각도  $8^\circ$  제초날을 활용하여 제초 성능 실험을 한 결과, 제초율이 88.93%로 나타났다. 이는 농촌진흥청의 기준을 만족한 것으로 현장에서 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구 결과를 통해 반력을 줄일 수 있는 설치 각도를 정하는 방법을 알 수 있다. 설치 각도는 경운날의 절삭각과 유사한 속성을 갖고 있으며, 설치 각도가 커질수록 소요 동력이 커지는 단점이 있다. 따라서 조건에 맞는 최소 설치 각도로 설치하는 것이 중요한데, 필요 설치각도는 디스크 반경과 디스크 회전속도, 제초기 전진속도에 따라 달라진다. 설치 각도는 디스크 회전속도가 빠를수록, 전진속도가 느릴수록 작았다. 디스크 반경이 100 mm 일 때 필요한 설치 각도는 4 ~ 27° , 150 mm 일 때 3 ~ 15° , 200 mm 일 때 2 ~ 10° 였다. 따라서 디스크 직경을 크게 만들고, 디스크 회전속도를 빠르게 하는 것이 손 진동을 줄이며, 소요 동력을 줄이는데 유리한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 상기 결과를 바탕으로 설계자가 정해놓은 디스크 반경과 전진속도, 회전속도가 주어진 경우, 손 진동을 줄일 수 있는 제초날 설치 각도를 구할 수 있는 계산용 스프레드 시트를 개발하였다.

## 6. 참고 문헌

Asia Agricultural Machinery. 2013. Available at: [www.asiafarm.co.kr](http://www.asiafarm.co.kr)

Asl, J. H. and S. Singh. 2009. Optimization and evaluation of rotary tiller blades: Computer solution of mathematical relations. *Soil & Tillage Research* 106(2009): 1-7.

BaekDoo Machinery. 2013. Available at: [www.toolpia.net](http://www.toolpia.net)

Baerveldt, S. and J. Ascard. 1999. Effect of soil cover on weeds. *Biological Agriculture and Horticulture* 17: 101-111.

Beeny, J. M. and D. C. P. Khoo, 1970. Preliminary Investigations into the Performnace of Different Shaped Blades for the Rotary Tillage of Wet Rice Soil. *J. agric. Engng Res* 15(1): 27-33.

Bond, W. and A. C. Grundy. 2001. Non-chemical weed management in organic farming systems. *Horticulture Research International*, Wellesbourne, Warwick, UK. pp. 383-405

Choi, D. C. 2012a. New Development and Principle of Organic Farming. In: *Proceedings of KAOA Conference 2012(5)*: 3-18. (In Korean)



- Choi, M. K.. 2012b. An Analysis for the Changing Trends of Residential Environment Based on the Change of Residents in Rural Areas. *Journal of Korean Institute of Rural Architecture* 14(3): 9–16. (In Korean, with English abstract)
- Choi, Y.. 2012c. Research Situation of Mechanization for Upland Farm Products in Korea. *Korea–Japan Symposium on Upland Field Mechanization Situation and Development Plan*: 151–166.
- Dewagan, K. N. and V. K. Tewary. 2009. Characteristics of hand–transmitted vibration of a hand tractor used in three operational modes. *International Journal of Industrial Ergonomics* 39(2009): 239–245.
- DONGYANGTECHTOOL. 2013. Available at: [www.dytechttool.com](http://www.dytechttool.com)
- Dytran. 2013. Dytran Instruments Incorporated. Available at: [www.dytran.com](http://www.dytran.com)
- Gruber, S. and W. Claupein. 2009. Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. *Soil Till. Res.* 105: 104–111.
- HANSUNG T&I Co., LTD.. 2013. Available at: [www.hstni.com](http://www.hstni.com)
- Hwang, S. H. and D. C. Lee. 2006. An Estimation of the Prevalence Rate of VWF by Different Wrist Posture during Grinding Tasks. *In: Proceedings of ESK 2006 conference.* 434–438. (In Korean)

- ISO. 2001. Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration. ISO 5349-1:2001(E).
- Jeong, C. J. and K. U. Kim. 1997. Principle of Farm Work Machine. Seoul National University Publishing Department. (In Korean)
- Jeong, H. K. and J. K. Jang. 2012. Analysis of consumption of Homemade Organically Processed Food. Korean Journal of Organic Agriculture 20(1): 1-19. (In Korean, with English abstract)
- JONES P. A., A. M. Blair and J. Orson. 1995. The effects of different types of physical damage to four weed species. In: Proceedings 1995 Brighton Crop Protection Conference - Weeds, Brighton, UK, 653-658.
- JONES P. A., A. M. Blair and J. Orson. 1996 Mechanical damage to kill weeds. In: Proceedings Second, International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark, pp. 949-954.
- KAMICO. 2010. Korean Agricultural Machinery Catalog in 2010 and 2011. Korea Agricultural Machinery Industry Cooperative. (In Korean)
- Kang, W. S., G. H. Lee and W. S. Kang. 1997. Effects of Flame and Infrared on Weed Control. *In: Proceedings of the KSAM '97 Winter Conference* 2(1): 288-294. (In Korean)

- Kang, W. S. and H. S. Moon. 2001. Weed Control by Flame. *Journal of Korean Society for Agricultural Machinery* 26(4): 331-336. (In Korean, with English abstract)
- Kang, T. K., C. S. Lee, H. J. Jeon, C. G. Lee, S. K. Kim and T. Y. Gwak. 2010. Application and Effects of weeding cultivator for upland field. *Research of Farming Application in Rural Development Administration*.
- Kang, H. J.. 2011. Analysis of factors affecting the off-farm Labor hours of Korean married women farmers. *Journal of The Korean Women Economists Association* 8(2): 1-28. (In Korean)
- Kim, S. S. and N. W. Paik. 1996. Assessment of Vibration Produced by Penumatic Hand Tools Used in Automobile Assembly. *Korean Ind. Hyg. Assoc. J.* 6(1): 1-16. (In Korean, with English abstract)
- Kim, S. S., Y. S. Lee and J. K. Woo. 1997. Study on the Improvement of Rotary Blade - Tilling Load Charateristic Analysis of the Three Kinds of Rotary Blade -. *Journal of Korean Society for Agricultural Machinery* 22(4): 391-400.
- Kim, T. H., I. J. Jang, J. T. Lee. 1997. Development of Electrical Methods for Weeds Control. *In: Proceedings of the KSAM '97 Winter Conference* 2(1): 295-300. (In Korean)

- Kim, S., I. B. Im, J. G. Kang, J. D. Kim and G. I. Lee. 2006. Effect of Cultivating Weeder on Tuber Formation and Shoot Growth of *Eleocharis kuroguwai* in Rice Paddy Field. *Kor. J. Weed Sci.* 26(3): 303–308. (In Korean, with English abstract)
- Kim, C. S. and K. D. Kim. 2007a. Development of a 2–row Type Band Furrow Tiller for a Wlking Cultivator. *J. of Biosystems Eng.* 32(4): 223–229. (In Korean, with English abstract)
- Kim, T. S. and I. J. Jang. 2007b. Development of a Remote Controlled Weeder Driven by Solar Battery Power. *Journal of Korean Society for Agricultural Machinery* 32(2): 91–96. (In Korean, with English abstract)
- Kim, C. K., H. K. Jeong and D. H. Moon. 2012a. Production Actual Condition and Market Outlook of Internal and External Environmental Friendly Agricultural Product. *Agricultural Focus of Korea Rural Economic institute* Vol. 14. (In Korean)
- Kim K. W. and D. H. Shin. 2012b. *The newest weeding principle* 4th ed. 2nd printing. Kyungpook National University Publishing Department. p. 105. (In Korean)
- Kim, K. B., E. K. Chung, K. H. You and J. K. Jang. 2012c. Assessment on the Actual Vibration Exposure of Workers Engaging in Vibration Induced Works. *Transactions of the KSNVE* 22(10): 940–948. (In Korean, with English abstract)

- Kim, B. G., S. Y. Shin, H. K. Kim and Y. Y. Kim. 2013. A Survey on the Using State of Agricultural Machinery and Mechanized Rate. *In: Proceedings of the KSAM & KSBEC 2013 Spring Conference* 137–138. (In Korean)
- KOSHA. 2012. Guideline of Measurement and Evaluation of Hand Vibration (H-77-2012). The Korea Occupational Safety and Health Agency. (In Korean)
- KS. 2012. KS B 7142: Rotary Tine and Rotary Tine Holder for Power Tillers. Korean Industry Standards.
- KS. 2013. KS B 7143: Rotary Tine and Rotary Tine Holder of Agricultural. Korean Industry Standards.
- Kwon, K. S. and C. K. Yoo. 2000. Present conditions of organic farming of advanced countries and their implications around Germany and Japan. *Monthly Report of National Agricultural Cooperative Federation* 513: 1–16. (In Korean)
- Lee, K. S., S. H. Park, W. Y. Park and C. S. Lee. 2003. Strip tillage characteristics of rotary tiller blades for use in a dryland direct rice seeder. *Soil Till. Res.* 71(2003): 25–32.
- Lee, G. I., J. G. Won, S. W. Kim, C. S. Lee, S. N. Yoo, S. J. Hwang, H. H. Kim and D. E. Kim. 2007. Development of Weeding Machine for Environmental Friendly Rice Culture. *In: Proceedings of the KSAM 2007 Winter Conference* 12(2): 80–84. (In Korean)

- Lim, S. T., I. Y. Lee, J. R. Cho, B. C. Moon and J. E. Park. 2002. A Possible Weed Management Strategy Using the Cultivating Weeder in Rice Paddy Field. *Kor. J. Weed. Sci.* 22(3): 259–265. (In Korean, with English abstract)
- MAFRA. 2002. Development of Tractor Rotary Blade for Energy Saving. Final Research Report. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. (In Korean)
- MAFRA. 2012. Present Condition of Possession of Agricultural Machinery in 2011 (11-1541000-000272-10). Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. (In Korean)
- Nakamoto, T., J. Yamagishi and F. Miura. 2006. Effect of reduced tillage on weeds and soil organisms in winter wheat and summer maize cropping on Humic Andosols in Central Japan. *Soil Till. Res.* 85: 94–106
- NI. 2013. National Instruments Corporation. Available at: [korea.ni.com](http://korea.ni.com)
- Noh, K. K. and P. Park. 2009. A Study on Measurement and Assessment of Local Vibration by Walking-type Cultivator. *Journal of Korea Safety Management & Science* 11(1): 67–73. (In Korean, with English abstract)
- Ock, H. S. and J. Y. Pyon. Trend and Perspective of Weed Control Techniques in Organic Farming. *Kor. J. Weed. Sci.* 31(1): 8–23. (In Korean, with English abstract)

- Park, Y. J. and K. U. Kim. 2002. Analysis and Isolation of Walking-type Cultivator Vibration Transmitted to Operator's Hands. *Journal of Korean Society for Agricultural Machinery* 27(4): 273–282. (In Korean, with English abstract)
- Park, Y. J., Y. S. Lee and K. U. Kim. 2004. Vibration Reduction of Walking-type Cultivator`s Handle using Modal Analysis and Operational Deflection Shapes Techniques. *Journal of Korean Society for Agricultural Machinery* 29(2): 101–108. (In Korean, with English abstract)
- Park, S. B., Y. J. Park and K. U. Kim. 2006. Optimization of Handle Vibration of Walking-type Cultivator. *J. of Biosystems Eng.* 31(3): 139–145. (In Korean, with English abstract)
- Pullen, D. W. M. and P. A. Cowell. 1997. An evaluation of the performance of mechanical weeding mechanisms for use in high speed inter-row weeding of arable crops. *Journal of Agricultural Engineering Research* 67: 27–34.
- R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <http://www.R-project.org/>.
- Ragni, L., G. Vassalini, F. Xu and L. B. Zhang. Vibration and Noise of Small Implements for Soil Tillage. *J. agric Engng Res.* (1999) 74: 403–409
- RDA. 2004. Test Method and Inspection Standard of Powered Weeding Cultivator. Rural Development Administration

- Reddiex, S. J., S. D. Wratten, G. D. Hill, G. W. Bourdot and C. M. Frampton. 2001. Evaluation of Mechanical Weed Management Techniques on Weed and Crop Populations. *New Zealand Plant Protection* 54: 174–178.
- Rhee, J. Y.. 2012. Improvement Upland Field in Korea for Mechanization Promotion. *Korea–Japan Symposium on Upland Field Mechanization Situation and Development Plan*: 169–184.
- Turner, R., M. E. K. Lennartsson, W. Bond and A. C. Grundy. Whitehouse, D. 1999. Organic weed control – getting it right in time. In: *Proceedings 1999 Brighton Conference – Weeds*, Brighton, UK. pp. 969–974.
- USDA. 2013. Soil Texture Calculator. Natural Resources Conservation Service Soils. United States Department of Agriculture. Available at: [www.nrcs.usda.gov](http://www.nrcs.usda.gov)
- Won, J. G. D. J. Ahn, S. J. Kim, S. D. Park and C. D. Choi.. 2008. Weed Control by Weeder Machine in Transplanted Rice Paddy Field for Mechanical Weed Control. *Kor. J. Weed. Sci.* 28(1): 1–7. (In Korean, with English abstract)
- Yim, S. H., H. S. Park and J. I. Yang. 2002. A study on the assessment of vibration produced by the powered hand tools used and hand–arm vibration syndrome prevalent in the shipbuilding industry. *Journal of the Ergonomics Society of Korea* 21(4): 25–45. (In Korean, with English abstract)



Yoo, D. K.. 2011. A Study on Strategy Development for Stabilization of Developing New Markets for Organic Products. Social Science Research in Dongguk University 18(1): 5-39. (In Korean)

# A Study on Rotary Weeding Blade Installation Angle for Reduction of Hand Vibration in Working Type Cultivator

Kwon Tae Hyeong

Rotary type walking weeding cultivator is suitable to organic farm in Korea because of its light weight and small size those make old worker and female worker use it easily. However walking type cultivator transmits hand vibration to workers, and it causes musculoskeletal disorder. Hand vibration is generated by engine and working part that compacts soil. In this study, a theory about soil reaction depended on installation angle of weeding blade was drawn. After that, verification of the theory and evaluation of weeding performance were conducted. Also, finding installation angle for reducing hand vibration was studied with the theory.

Six parameters that forward velocity of cultivator, angular velocity of disk, radius of disk, weeding depth, length of weeding apparatus and installation angle of weeding blade were selected for this study. Width of weeding blade influenced soil reaction, but it was not considered because it concerned with the number of disks and overall weeding width. Therefore width of weeding blade was excluded from the parameters. For verification the theory,

experiments were performed for verification the theory and weeding performance. Vibration experiment was performed depended on ISO 5349:1, and three type disk (0, 4, 8° of installation angle) was used. Weeding performance experiment was depended on Rural Development Administration guideline.

Using dynamic analysis computer program, motion of weeding blade in soil was analysed. According to simulation, if trace of blade edge was behind trace of another point of same blade on soil surface, the back of blade pressed virgin soil and the cultivator received an unnecessary upward soil reaction. The case that weeding blade passed vertical angle with center of disk did not influence upward soil reaction. Therefore soil reaction occurrence could be judged by index ( $X_{MF}$ ) which calculated by  $x$  axis of two traces on soil surface. If  $X_{MF}$  is smaller than 0, unnecessary upward soil reaction will be occurred.

$X_{MF}$  was expressed by six parameters. In vibration experiment,  $X_{MF}$  was calculated by forward velocity and installation angle in each experimental spot. Vibration total value of frequency – weighted r.m.s. ( $a_{hw}$ ) was compared with  $X_{MF}$ . According to T-test, two groups that positive group ( $X_{MF} > 0$ ) and negative group ( $X_{MF} < 0$ ) had significant difference ( $p < 0.05$ ). In aspects of the group mean total (lifetime) exposure duration, positive group was 17.53% bigger than negative group. The result of field test accepted the theory. In weeding performance experiment, weeding blade of 8° installation angle had 88.93% weeding ratio that was higher than standard of Rural Development Administration, 80%.

Installation angle was concerned with cutting angle of tillage blade. Therefore bigger installation angle brought about high energy consumption. While bigger installation angle caused higher possibility of no occurrence unnecessary upward soil reaction. The minimum installation angle of trade-off between vibration and energy consumption was found according to the theory. The minimum installation angles were different in disk radius, disk angular velocity and forward velocity. When disk radius 100, 150 and 200 mm, minimum installation angles were  $4 \sim 27^\circ$ ,  $3 \sim 15^\circ$  and  $2 \sim 10^\circ$ , respectively. In this study, a spread sheet program which calculated  $X_{MF}$  was developed by Excel 2013. The program could be utilized for finding minimum installation angle for reduction soil reaction, and it could be reduced hand vibration.

---

**Keywords : rotary type weeding cultivator, hand vibration,  
weeding blade**

**Student No. : 2012-21123**