

## 원추지수를 이용한 경운 정지 작업의 작업성 예측

### Prediction of Tillage Workability by Cone Index

최 석 원

오 영 근

김 경 옥

정 회원

정 회원

S. W. Choi

Y. G. Wu

K. U. Kim

#### SUMMARY

This study was conducted to recognize a possibility that cone index can be used as a means of evaluating the tillage workability. Cone indexes were measured every 24 hours after rainfall at the experimental plots, and the rotary and plowing operations were conducted at the same time. The workability was evaluated on a basis of three categories of good, fair and poor depending on the quality of the performed works. Although the workability was affected by many factors such as soil type, moisture content, ground slope and weather condition, the duration and amount of rainfall were of most influence. Results of the study showed that a good workability was resulted from the cone indexes greater than an average of 552 kPa for rotary operations and 671 kPa for plowing operations. Fair work was obtained with cone indexes greater than an average of 331 kPa for rotary operations and 459 kPa for plowing operations. The cone indexes less than an average of 171 kPa and 149 kPa resulted in poor workabilities for rotary and plowing operations, respectively. The experimental results may provide a general guideline for evaluating the tillage workability by cone index.

**주요용어(Key Words)** : 트랙터 작업성(Tractor workability), 원추지수(Cone index), 경운 작업(Tillage operation)

#### 1. 서 론

비가 내린 후, 포장의 토양 상태에 따라서 농기계의 작업 가능성을 판단하는 일은 작업 적기를 결정하는 데 있어서 매우 중요한 일이다. 일반적으로, 농민은 축적된 경험을 통하여 자신의 포장에 대한 작업 가능 여부를 판단하고 있으나, 새로운 농기계, 새로운 포장, 새로운 배수 시설 등 농작업 환경이 변화되었을 때는 경험이 많은 농민도 농기계 사용에 적합한 토양 상태를 정확하게 판단하기는 어렵다.

본 연구에서는 농업 기계에 의하여 특정한 작업이 이루어지는 정도를 농업기계의 작업성(作業性)이라고 정의하였으며, 작업성은 농기계의 종류, 토양 상태, 기상 조건 등의 영향을 받는다. 농업 기계에 의한 영향은 대부분 고정적인 데 비하여, 토양의 영향은 주위 환경과 기상 상태에 따라서 변화된다. 특히, 강우 후 토양의 강도, 점착력, 마찰력 등이 변화되기 때문에 이러한 토양 상태의 변화로 인하여 농기계가 적절한 작업을 수행할 수 없는 경우가 많다.

농기계 작업은 토양 상태에 따라서 가장 효과적

This article was submitted for publication in November 1999 ; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in May 2000.

The corresponding author is K. U. Kim, Professor, Agricultural Machinery Engineering Major Seoul National University, 441-744 Suwon Korea. E-mail : kukim@plaza.snu.ac.kr



인 작업이 가능할 때 수행되어야 하며, 특정한 시기, 즉 적기에 이루어져야 한다. 만약, 작업 적기에 비가 온다면, 연계쯤 농기계의 투입이 가능한지 판단하는 일도 매우 중요하다. 이러한 판단은 특히 연중 몇 차례의 경운 작업이 요구되는 밭작물 재배에서는 더욱 중요하다.

농업 선진국에서는 농기계의 작업성을 예측하기 위한 연구가 수행된 바 있다(Manor et al., 1991, Earl, 1996, Schmid, 1995). 토양 조건과 농민의 경험을 활용하여 작업성을 평가하기 위한 객관적인 기준을 개발하고, 이를 응용하기 위한 연구가 수행되고 있다. 국내에서도 보다 합리적으로 농기계를 운영하기 위해서는 각종 농기계의 작업성을 정확히 예측하고 이를 활용할 수 있는 기술이 개발되어야 한다.

작업성은 토양과 농기계 사이의 상호 작용에 의한 현상의 하나이므로 토양 변수와 기계 변수로써 표현되어야 하며, 농민의 경험적 지식과 일치하여야 한다. 즉, A 포장에서 B 기계를 이용하여 C 작업을 수행하고자 할 때, C 작업의 작업성을 판단할 수 있는 기준이 요구된다.

본 연구는 원추지수를 이용한 작업성 예측의 가능성을 제시하기 위하여 시도되었으며, 밭 토양에서 트랙터에 의한 쟁기 작업과 로터리 작업을 실시하고, 각각의 작업성을 평가하여 그 가능성을 확인하였다.

## 2. 재료 및 방법

경운작업은 작물이 잘 자랄 수 있는 상태로 토양을 준비하는 것이다. 즉, 종자를 파종하거나 모를 이식할 때 파종과 이식에 적합한 상태로 토양을 경기(耕起), 파쇄(破碎), 정지(整地)하는 것이다. 이와 같은 경운 작업의 특징을 고려할 때, 경운 작업의 작업성은 토양 상태가 파종이나 이식에 적합한 상태로 작업되었는가에 달려있다. 표 1은 경운 작업의 작업성을 평가하기 위한 경험적 방법과 이를 토양과 기계의 상호 작용의 변수로서 나타낸 것이다. 경험적 방법으로는 육안 또는 발자국의 정도에 따라 작업성을 판단할 수 있으나, 이를 객관화하기 위해서는 침하, 원추지수 등과 같은 상

Table 1 Parameters representing workability of tillage operation

Empirical method	Soil-machine interaction parameter
Eye inspection on soil surface conditions	Moisture content
Foot print made by walking on the field	Sinkage
Penetrating resistance of rod	Cone index

호 작용의 변수로써 작업성을 표현하여야 한다.

### 가. 토양 변수

트랙터의 작업성에 영향을 미치는 토양 변수에는 토성, 함수비, 비중, 점착력, 내부 마찰각 등이 있으나, 보다 간편한 방법으로 토양 상태를 정량화 할 수 있는 변수는 원추지수가 가장 적합한 것으로 판단된다. 원추지수는 토성, 함수비, 내부 마찰각, 비중, 점착력, 수분 흡입력 등의 영향을 받기 때문에(Ayers et al., 1982), 이러한 변수의 영향을 모두 고려한 변수라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 트랙터의 작업성에 영향을 미치는 토양 변수로서 원추지수를 사용하였다.

### 나. 포장 선택

작업성을 평가하기 위한 트랙터 작업은 경기도 수원시 소재 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 부지 내에 있는 밭에서 실시하였다. 실험 포장은 길이 30m, 폭 10m인 장방형으로 하였으며, 이 포장을 다시 폭이 2.5m이고 길이가 30m인 소구역, A, B, C, D로 4등분하여 사용하였다. 포장의 토양은 모래가 78.4%, 실트가 20.4%, 점토가 1.2%인 밭 토양으로서, 미국 농무성법에 의한 토성은 양질 사토(loamy sand)로 분석되었다.

### 다. 원추지수의 측정

원추지수는 정각이 30°이고 밀면적이 200mm<sup>2</sup>인 원추를 지면과 수직인 방향으로 토양에 관입시킬



때 저항하는 힘으로서 SR-2기를 이용하여 측정하였으며, 관입 속도의 영향을 배제하기 위하여 원추의 관입 속도는 10mm/s로 하였다.

쟁기 작업과 로터리 작업을 시작하기 직전 각 시험구역에서 원추지수를 측정하였다. 원추지수는 각 구역에서 5m 간격으로 6~8회 측정하여 값이에 따라 나타내었다.

지면의 원추지수는 원추의 지면과 지면이 일치할 때 측정하였으며, 쟁기 작업에서는 5cm 간격으로 15cm까지 관입 깊이에 따라 원추지수를 측정하였다. 로터리 작업에서는 경반의 경도를 고려하기 위하여 관입 깊이를 30cm까지 하였다. 원추지수는 2회에 걸쳐 작업 상태별로 평가된 구역 내 임의의 10~12 지점에서 측정하였다.

#### 라. 쟁기 작업

작업성을 평가하기 위하여 3~4일간 총 13mm의 보슬비가 내렸던 경우와 일일 17mm 정도의 강우가 있었던 임의의 2일을 택하여 강우가 끝난 후 시험 포장의 A 구역에서 D 구역까지 24시간 간격으로 4일에 걸쳐 쟁기 작업을 실시하였다. 쟁기 작업은 40마력급 트랙터와 대동공업사 제품의 3륜 유압 양용식 쟁기를 사용하여 실시하였으며, 경심과 작업 속도는 각각 농민들이 널리 채택하고 있는 15cm와 6.35km/h로 하였다.

쟁기 작업을 완료한 후 각 소구역의 작업 상태를 표 2에서와 같이 좋음, 보통, 나쁨 3단계로 구분하였다. 좋음은 토양이 균등하게 파쇄되어 반전되고, 쇄토율이 90% 이상인 경우이고, 보통은 균

일하게 파쇄되지 않고 반전되어 표토가 건조되면 작은 흙덩어리가 생겨 쇄토율이 80~90%인 경우이다. 나쁨은 파쇄와 반전이 정상적으로 이루어지지 않고, 작업 후 표토가 건조되면 큰 흙덩어리가 생겨 쇄토율이 80% 이하이며, 파종이나 이식 작업이 불가능한 경우로 하였다. 쇄토율은 직경이 2cm 이하인 흙덩이의 분포 비율을 말한다. 쟁기 작업 후 작업 상태를 구별하기 어려운 경우에는 분석에서 제외하였다.

#### 마. 로터리 작업

쟁기 작업에 대한 작업성 평가가 완료된 후 전체 시험 포장을 다시 경운하고 2개월이 경과한 후 로터리 작업에 대한 작업성을 평가하였다. 쟁기 작업에서와 같이 1~2일간 총 20~30mm의 강우가 있었던 2일 택하여 강우 후, 시험 포장의 구역 A에서 구역 D까지 24시간 간격으로 4일에 걸쳐 로터리 작업을 수행하였다. 로터리 작업은 40마력급 트랙터와 경폭이 1,650mm인 L자형 경운날을 가진 로터베이터를 사용하였다. 경심과 작업 속도는 각각 널리 채택되고 있는 15cm와 3.57km/h로 하였으며 로터리 회전 속도는 578 rpm으로 하였다.

로터리 작업을 완료한 후 각 구역의 작업 상태를 표 3에서와 같이 좋음, 보통, 나쁨 3단계로 구분하였다. 좋음은 토양이 균등하게 파쇄되어 쇄토율이 90% 이상인 이상적인 상태이고, 보통은 쇄토율이 80~90%로서 파종이나 이식 작업을 수행할 수 있는 경우이다. 나쁨은 토양이 균일하게 파쇄되지 않아 쇄토율이 80% 이하인 경우로서 파종이나 이식 작업이 다소 어려울 것으로 예상되는 상태를 나타낸 것으로 하였다.

Table 2 Workability of plowing operation

	Plowing operation
Good	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uniformly broken furrow slice and inverted</li> <li>• More than 90% of pulverization ratio</li> </ul>
Fair	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non-uniformly broken and clogged furrow slice</li> <li>• 80~90% of of pulverization ratio</li> </ul>
Poor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unbroken and not-inverted furrow slice</li> <li>• Less than 80% of of pulverization ratio</li> </ul>

Table 3 Workability of rotary operation

	Rotary operation
Good	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uniform pulverized</li> <li>• More than 90% of pulverization ratio</li> </ul>
Fair	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Partially clogged</li> <li>• 80~90% of of pulverization ratio</li> </ul>
Poor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Less pulverized</li> <li>• Less than 80% of of pulverization ratio</li> </ul>



## 바. 강우량에 의한 원추지수

강우 후 토양의 작업성 변화를 구명하기 위하여, 비가 오고 난 후 시험 포장에 대한 원추 지수의 변화를 조사하였다. 시험 포장의 가로와 세로를 각각 4, 5등분하여 전체를 20개 구획으로 만들고 각 구획에서 3번씩 원추지수를 측정하여 시험 포장 전체에 대한 평균 원추지수를 구하였다. 측정기간은 발작물의 파종기와 이식기에 해당되는 4-5월로 하였으며, 측정은 24시간을 주기로 주로 오전에 실시하였다. 비가 내릴 때부터 측정을 시작하였으며, 측정일의 기상 상태는 수원 기상대의 자료를 이용하였다.

강우 형태는 인위적으로 조절할 수 없기 때문에 비가 오면 측정을 시작하여 5~10일간 계속하고, 추후 기상 자료를 이용하여 측정기간의 기상 상태를 확인하는 방법으로 데이터를 분석하였다.

측정기간에 내린 비를 강우량에 따라 다음과 같이 4가지 형태로 구분하였다.

- (1) 10mm 이하
- (2) 10~20mm
- (3) 20~30mm
- (4) 30~40mm

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 원추지수와 쟁기 작업상태의 관계

그림 1, 그림 2, 그림 3은 각각 작업상태가 좋음, 보통, 나쁨 상태로 평가된 구역에서 측정된 깊이별 원추지수의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 기호는 원추지수의 측정지점을 구별하기 위하여 나타낸 것이다. 작업상태가 좋은 것으로 평가된 경우에는 표토의 원추지수가 400~800 kPa 범위이었으며, 작업 상태가 보통인 경우에는 200~500 kPa, 작업 상태가 나쁜 경우에는 100~200 kPa이었다. 그러나 깊이에 따른 원추지수의 변화는 같은 구역 내에서도 큰 차이가 있었으며, 특히 10cm 이내의 표토층에서는 깊이에 따라 토양의 강도가 약화되는 경향이 나타났다. 이러한 현상은 지면은 건조되었으나 지면 하의 표토 층에는 수분 함량이

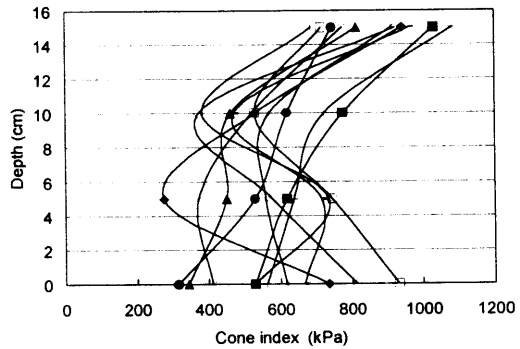


Fig. 1 Cone index resulted in good plowing workability.

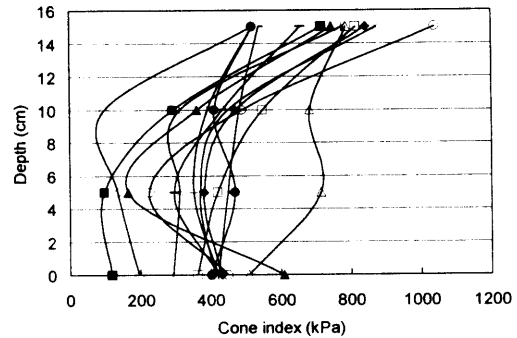


Fig. 2 Cone index resulted in fair plowing workability.

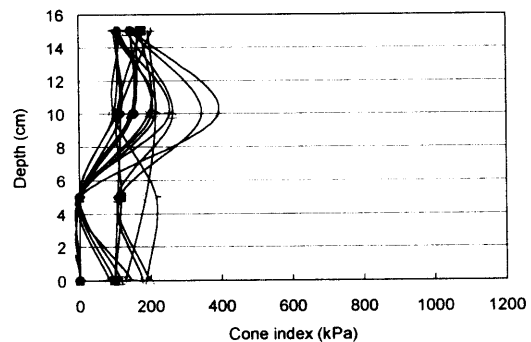


Fig. 3 Cone index resulted in poor plowing workability.

높아 토양 강도가 약화된 것으로 판단된다.

작업상태에 따른 원추지수의 경향을 통계적으로 구명하기 위하여 토심에 따른 평균 원추지수와



Table 4 Average cone index and its confidence levels by workability

Workability		Good	Fair	Poor
CI, kPa				
0cm	Average	657	417	121
	Conf. Level	$\pm 149$	$\pm 69$	$\pm 64$
5cm	Average	622	396	96
	Conf. Level	$\pm 118$	$\pm 120$	$\pm 85$
10cm	Average	578	374	208
	Conf. Level	$\pm 100$	$\pm 54$	$\pm 50$
15cm	Average	826	650	171
	Conf. Level	$\pm 118$	$\pm 112$	$\pm 62$

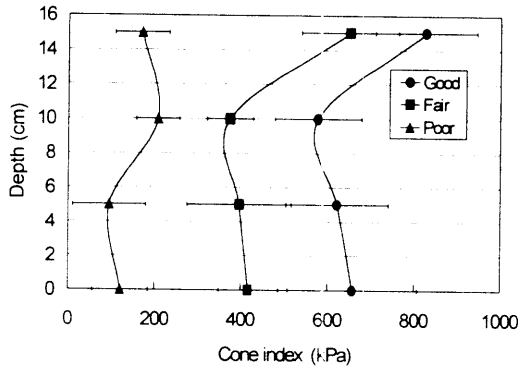


Fig. 4 Average cone index vs. workability.

95% 신뢰 구간을 구하였다. 표 4와 그림 4는 통계적으로 구한 토심별 평균 원추지수와 95% 신뢰구간을 나타낸 것이다.

작업상태간 평균 원추지수의 차이는 200~300 kPa 정도이나 토심에 따라 차이가 나타났으며, 일정한 경향을 유도하기는 어려웠다. 이러한 결과는 특정 토양과 2회에 걸친 임의의 강우 형태에서 측정된 제한된 데이터로써 분석된 결과이기 때문에 모든 경우에 적용하기는 어려우나, 강우 후 원추지수로써 쟁기 작업의 적기 예측은 가능할 것으로 판단된다.

#### 나. 원추지수와 로터리 작업상태의 관계

그림 5, 6, 7은 각각 작업상태가 좋음, 보통, 나쁨으로 평가된 구역에서 측정된 원추지수의 변화

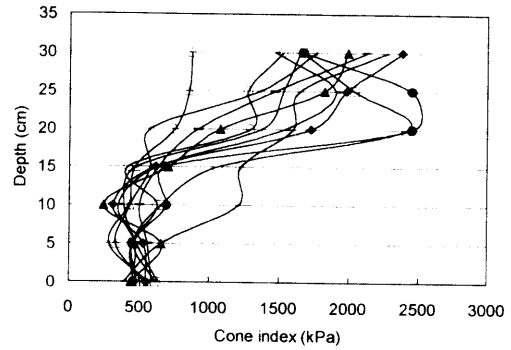


Fig. 5 Cone index resulted in good rotary workability.

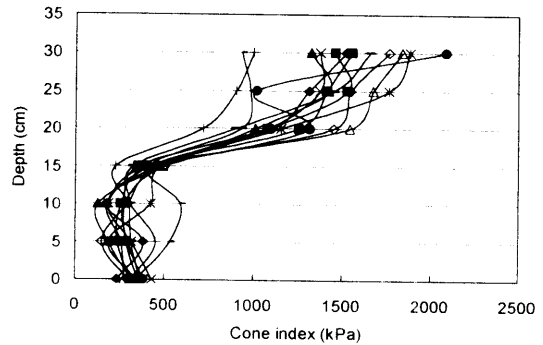


Fig. 6 Cone index resulted in fair rotary workability.

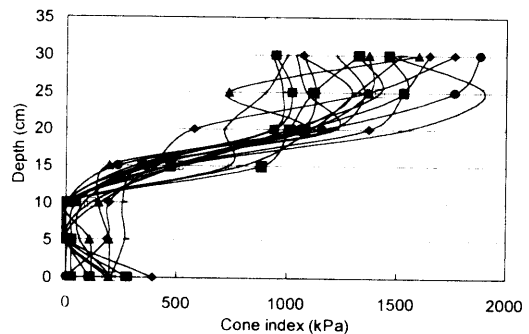


Fig. 7 Cone index resulted in poor rotary workability.

를 나타낸 것이다. 작업상태가 좋음으로 평가된 구역에서 지면의 원추지수는 약 500 kPa 이었으며, 15cm 이하의 깊이에서는 원추지수의 변화가



Table 5 Average cone index and its confidence levels by rotary workability

Workability CI, kPa		Good	Fair	Poor
0cm	Average	508	330	113
	Conf. Level	± 56	± 33	± 63
5cm	Average	477	298	50
	Conf. Level	± 72	± 71	± 44
10cm	Average	528	282	61
	Conf. Level	± 162	± 79	± 43
15cm	Average	694	412	461
	Conf. Level	± 152	± 51	± 97

Table 6 Cone index for workability

Workability	Type	Measured cone index (kPa)	Average cone index (kPa)
Good	Rotary	444 ~ 870	552
	Plow	517 ~ 971	671
Fair	Rotary	277 ~ 468	331
	Plow	238 ~ 584	459
Poor	Rotary	59 ~ 267	171
	Plow	53.9 ~ 277	149

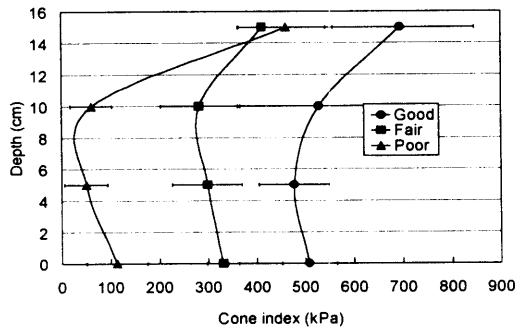


Fig. 8 Average cone index vs workability of rotary operation.

크지 않았으나, 20cm 이상에서는 변화가 심하였다. 보통으로 평가된 구역의 지면 원추지수는 400 kPa 정도이었으며, 나쁨으로 평가된 구역의 지면 원추지수는 300 kPa 이하인 것으로 나타났다.

원추지수에 따른 로터리 작업상태의 경향을 보다 구체적으로 구명하기 위하여 토심에 따른 평균 원추지수와 95% 신뢰 구간을 구하였다. 표 5와 그림 8은 통계적으로 구한 토심별 평균 원추지수와 95% 신뢰구간을 나타낸 것이다.

그림 8에서와 같이 5~10cm 깊이의 원추지수는 표면의 원추지수보다 낮았다. 이러한 현상은 강우 후 표토의 수분 증발이 내부보다 빠르기 때문에 표토는 함수비가 낮아지고 원추지수가 증가되었으나, 5~10cm 깊이에서는 높은 함수비가 그대로 유지되어 원추지수가 낮아진 것으로 판단된다.

#### 다. 작업성 예측

표토에서 0~15cm까지의 원추지수를 평균하여 쟁기 작업과 로터리 작업의 작업성을 나타내었다. 표 6은 각 작업의 작업성을 0~15cm까지의 평균 원추지수로서 나타낸 것이다. 이 결과에 의하면, 좋은 작업상태를 얻기 위해서는 쟁기 작업의 경우 0~15cm까지의 평균 원추지수가 671 kPa 이상되어야 하며, 로터리 작업의 경우에는 552 kPa 이상되어야 하는 것으로 판단된다. 작업상태가 보통이 되기 위해서는 로터리 작업의 경우 최소한 평균 원추지수는 331 kPa은 되어야 하며, 쟁기 작업의 경우에는 459 kPa은 되어야 한다. 평균 원추지수가 171 kPa 이하일 경우에는 로터리 작업과 쟁기 작업은 모두 작업 상태가 나쁠 것으로 예상된다.

따라서, 평균 원추지수가 약 200 kPa 이하일 경우에는 쟁기 작업이나 로터리 작업을 실시하지 않는 것이 타당할 것으로 판단되며, 평균 원추지수가 약 600 kPa 이상일 때는 쟁기 작업과 로터리 작업이 모두 우수한 상태가 될 것으로 예상된다.

#### 라. 강우량에 따른 원추지수의 변화

그림 9, 10, 11, 12는 강우 후 24시간 간격으로 기상상태의 변화와 측정된 원추지수의 변화를 나타낸 것이다.

강우 후 원추지수의 변화는 토양의 종류, 초기 원추지수, 강우량, 강우일수, 강우 후 기상상태 등



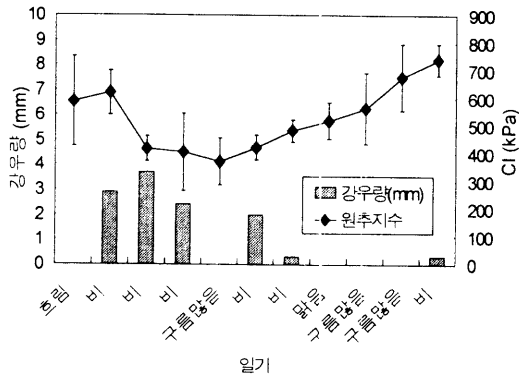


Fig. 9 Variation of cone index after a rainfall of less than 10 mm.

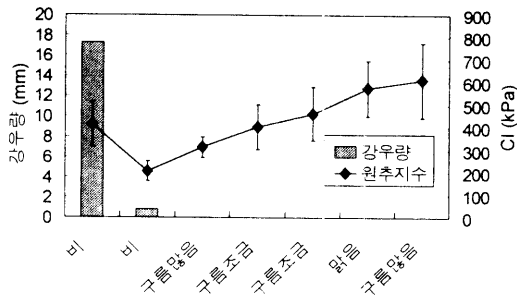


Fig. 10 Variation of cone index after a rainfall of 10-20 mm.

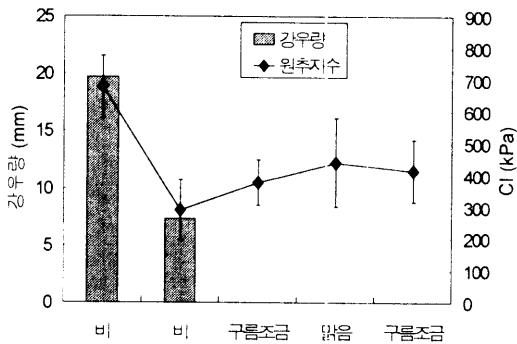


Fig. 11 Variation of cone index after a rainfall of 20-30 mm.

의 영향을 받는다. 또한, 원추지수는 같은 종류의 토양에서도 배수시설, 경사도 등에 따라서도 변화

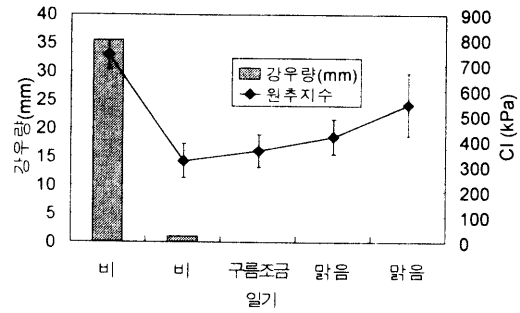


Fig. 12 Variation of cone index after a rainfall of 30-40 mm.

Table 7 Variations of cone index by rainfall

Rainfall	Variation of Cone Index
Drizzling rain, 12mm (3~4 days)	270 kPa
10~20mm (1 day)	200 kPa
20~30mm (2 days)	400 kPa
30~40mm (1 day)	400 kPa

된다. 본 연구에서는 원추지수의 변화와 이에 영향을 미치는 각 요인과의 관계를 구체적으로 구명하지는 않았으나, 강우량보다는 강우일수의 영향이 큰 것으로 나타났다. 3~4일간 보슬비가 12mm 내렸던 경우와 1일간 강우량이 17mm 이었던 경우를 비교하였을 때 원추지수의 변화는 보슬비가 내렸을 때 더 크게 나타났다. 2일간 25mm의 비가 내렸을 때와 1일간 35mm의 비가 내렸을 경우를 비교하였을 때도 원추지수의 변화는 2일간 비가 내렸을 때 더 크게 나타났다. 이러한 결과는 원추지수의 변화는 강우량보다는 강우일수에 더 큰 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 결과는 강우 후 기상조건을 고려하지 않고 특정 포장을 대상으로 2개월 동안 측정한 데이터를 분석한 것이므로 일반화하기는 어려울 것으로 생각된다. 그러나, 다양한 토양 조건에서 다년간 강우 후 원추지수의 변화를 측정한다면, 농기계의 효율적 이용과 작업성을 예측하는 데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

표 7은 4가지 형태의 강우에 대하여 강우량에



따른 원추지수의 변화를 나타낸 것이다. 강우량이 많을수록 또 강우기간이 길수록 원추지수는 감소되었다.

것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 원추지수를 이용한 경운 정지작업의 작업성 예측은 가능한 것으로 판단된다.

#### 4. 요약 및 결론

#### 참 고 문 헌

토양의 원추지수로써 트랙터를 이용한 로터리 작업과 쟁기작업의 작업성을 예측하기 위하여, 강우 후 24시간 간격으로 각각의 작업을 4회 수행하고 원추지수의 변화와 작업상태의 관계를 구명하였다. 작업상태는 각 작업의 목적에 대한 부합 정도에 따라 좋음, 보통, 나쁨 상태로 구분하였다.

로터리 작업의 경우, 작업상태가 좋음은 토양의 원추지수가 평균 552 kPa 이상, 보통은 평균 331 kPa 이상 되어야 하며, 원추지수가 평균 171 kPa 이하일 때는 작업상태가 나쁨 것으로 나타났다. 쟁기 작업의 경우에는 전체적으로 로터리 작업에 비하여 원추지수가 커야 하며, 좋음 상태는 평균 671 kPa 이상, 보통 상태는 459 kPa 이상 되어야 하고, 평균 149 kPa 이하일 때는 작업상태가 나쁨

1. Earl, R. 1996. Prediction of trafficability and workability using tensio-meters Journal of Agricultural Engineering Research 63:27-34.
2. Ayers, P. D. and J. V. Perumpral. 1982. Moisture and density effect on cone index. Trans. of the ASAE 25(4):1169-1172.
3. Manor, G., R. L. Clark, D. E. Radcliffe and G. W. Langdale. 1991. Soil cone index variability under fixed traffic tillage systems. Trans. of the ASAE 34(5):1952-1956.
4. Schmid, I. C. 1995. Interaction of vehicle and terrain results from 10 years reseach at IKK. Journal of Terramechanics 32:3-26.