단기순환림 생산을 위한 삼목 이식기 개발

김동화 김대철 김상헌 신범수

Development of Stem-cutting Transplanter for Short-term Rotation Coppice

D. H. Kim D. C. Kim S. H. Kim B. S. Shin

Abstract

Since SRC (Short-term Rotation Coppice) such as poplar and willow can be harvested in three years, they are known to be a potential forest biomass as fuel for a power plant. The production system including transplanting and harvesting is, however, necessary to be mechanized because such a biomass should be handled in a massive volumetric size. A pull-type stem-cutting transplanter was developed in the research as the first step to realize the production of SRC. A needle-like transplanting device pushes a stem-cutting into the prepared soil bed by a pneumatic cylinder, and another device firms soil around a stem-cutting transplanted. Since this is an intermittent operation, it was necessary to develop a zero horizontal velocity mechanism which enabled only the transplanting needle part to continue a zero horizontal movement relative to the ground during the transplanting operation even when the tractor kept moving forward.

The 2-row transplanter can transplant stem-cuttings at the rate of 6.5 seconds per row without missing a single attempt. The planting depth and distance were well maintained and controlled. Their CVs were between 2.1~3.4% and 0.87~1.7% for the depth and the distance, respectively. Although, the transplanted stem-cuttings tended to lean outward from the back-view and forward from the side view, they were planted within the range of 3° from the upright position.

Keywords : Transplanter, Stem-cutting, Short-term rotation coppice (SRC), Biomass energy

1. 서론

화석에너지의 고갈 및 원자력에너지의 위험성 증대는 새로운 사회적 패러다임으로서 ‘지속가능한 순환형 사회건설’이 대두됨으로써 경제성장과 더불어 환경성과 사회성이 강조되고 있다. 신재생 에너지는 고갈 및 공해, 대기오염, 방사능 폐기물 문제로부터 자유롭고 개도국에 전력공급이 가능하여 경제성장동력, 친환경성이라는 측면에서 지속가능성을 제고할 수 있다. 이러한 이유로 세계 각국에서는 에너지 R&D 중 상당부분을 신재생에너지 개발 및 보급에 투자하고 있으며 특히 재생가능하고 지속적으로 이용가능한 에너지원으로서 바이오매스에 대한 관심이 높아지고 있다(Wu et al., 2006). 산

림 부산물 바이오매스를 연료로 하여 증기를 생산하여 발전을 하는 소위 녹색촌(Green village) 과제는 선진국에서 실용화되고 있으며, 또한 속성수인 포플러, 버드나무, 아카시아나무, 자작나무, 유칼리나무 등을 2~5년의 단벌기로 고밀도 맹아림을 조성한 후 에너지원으로 활용하여 보일러 및 증기발전기의 연료로 사용하는 기술들이 점차 확대되고 있다 (SRC Grower Guide). 국내에서도 녹색성장 및 저탄소 생산 기술 개발의 일환으로 유희지나 비교적 경사가 적은 산간 지역에 단기 속성수를 재배하여 그것을 수확하여 칩으로 만든 후 연료로 사용하는 방안이 고려되고 있으며, 이런 목질 에너지를 생산, 가공, 이용하기 위해서는 신개념의 임업기계가 필요하다(Park, 2008).

This study was carried out with the support of ‘Forest Science & Technology Project’ provided by Korea Forest Service. The article was submitted for publication on 2009-11-19, reviewed on 2010-01-22, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-02-05. The authors are Dong Hwa Kim, Graduate Student, Sang Hun Kim, Beom Soo Shin, Professors, KSAM members, Dept. of Biological Systems Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, Korea., and Dae Cheol Kim, Senior Researcher, KSAM member, R&D center, Tongyang Moolsan Co., LTD., Gongju, Korea. Corresponding author: B. S. Shin, Professor, KSAM member, Dept. of Biological Systems Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea; Fax: +82-33-255-6406; E-mail: <bshin@kangwon.ac.kr>.

이미 유럽 등지에서는 단기순환림(SRC)을 활용한 산림바이오매스 자원을 생산하기 위하여 삼목이식기 및 수확기 등을 개발하여 사용하고 있다(SRC Grower guide). 본 연구는 국내 실정에 맞게 단기순환림을 생산하여 에너지원으로 활용하기 위한 일관작업 시스템 구축의 제 1 단계로 묘목 이식기를 개발하기 위하여 시도되었다. 일반적으로 앞에서 언급한 속성수들은 무성생식의 하나인 삼목(쭉꾸이, stem cutting) 방식으로 묘목이 양성된다(Lim, 1991). 이는 1~2 년생 나무의 가지를 적당한 길이로 절단하여 즉시 이식하거나 또는 발근 후 이식하는 방식으로 구분된다. 북유럽 지역에서는 그림 1에서와 같이 삼목이식기를 개발하여 사용하고 있는데, 이것은 트랙터 견인형 작업기로서 2 인의 작업자가 탑승하여 1.5~2.5 m 길이의 준비된 묘목을 이식부에 투입하면 18~20 cm의 간격으로 잘려지면서 토양 내에 즉시 이식되는 구조이다(SRC Grower guide). 그림 2는 미주지역에서 많이 사용되는 기계식 이식기로 발근이 완료된 실생묘(seedling)를 사용한다. 이 작업기는 트랙터에 의해 견인되면서 지면과 접촉한 차륜으로부터 직접 동력을 전달받으며 뿌리 길이 18 cm, 지상부 길이 45 cm까지의 묘목을 이식할 수 있다. 여기에서도 1 인의 작업자가 준비된 묘목을 큰 휠에 달린 투입부에 넣어 두면 해당 투입부가 이식 위치에 도달하였을 때 생크에 의해 절단된 토양 내로 묘목이 투입되며 진압되는 방식이다. 대부분의 이식기들이 유사한 구조를 갖으며 다수의 작업자가 승차한 채로 이식기에 수동으로 묘목을 투입하며 매우 저속으로 작업이 이루어지는 특징이 있다. 한편, 국내에서는 Kim 등(2006b)이 AC전동기를 동력원으로 사용하는 인삼정식기를 개발한 바 있으며, 2인의 작업자가 정식기를 따라가며 묘

Fig. 1 Step-planter (from SRC grower guide).

Fig. 2 Mechanical Transplanter (from Windell, 2003).

삼을 수동 공급하는 방식을 채택하였다. 플러그 묘를 사용하는 이식기의 개발을 위하여 묘 분리 장치, 묘 자동공급 장치, 식부장치 등에 대한 연구(Min and Moon, 1998; Choi et al., 2002; Park et al., 2005)가 수행되었으며, Kim 등(2006a)은 플러그 묘 방식의 고추 묘 자동이식기를 개발하였다. 이에 비하여 삼목 방식의 묘목 이식작업의 기계화에 대한 연구는 시작 단계로서(Shin and Kim, 2009), 관행적으로는 미리 준비된 이식상에 작업자가 묘목보다 약간 가는 막대기로 구멍을 낸 후 거기에 묘목을 투입하고 발로 밟아 진압하는 방식이 사용되고 있다. 숙련된 작업자는 하루 약 800 본의 묘목을 이식할 수 있는 것으로 알려져 있다.

따라서, 향후 바이오에너지의 활용이 점차 확대됨에 따라 바이오매스의 수요 또한 크게 증가할 것으로 예상되는 바, 효율적으로 산림바이오매스를 생산하기 위하여 파종/이식, 재배관리, 및 수확/수송 시스템의 기계화는 시급히 달성해야 할 과제로서 대두되고 있다.

본 연구의 목적은 인력 족담 방식을 시뮬레이션하여 개폐 가능한 출구가 있는 이식침에 삼목을 투입하고, 이 이식침을 토양 내로 밀어 넣었다가 출구를 개방한 채로 이식침을 들어 올림으로써 삼목이 토양내에 남겨지게 되고 이어서 진압이 이루어지는 방식의 삼목 이식기를 개발하는 것이다. 특히, 이식침이 토양내 박혀 있는 상태에서 트랙터는 전진하게 되므로 이식작업이 이루어지는 동안 이식부의 상대속도가 0가 되는 장치를 고안하여 연속적인 이식 작업이 가능하도록 하였다. 작업기는 반장작식으로 트랙터에 의해 견인되며, 2조식으로서 1 인의 작업자가 준비된 삼목을 이식부에 투입하는 반자동 방식이며 이식작업기의 동력원은 공압을 사용하였다. 마지막으로 로터리경운으로 준비된 삼목 이식상에서 이식성 공률과 작업속도로서 작업기의 성능을 평가하고, 이식깊이 및 주간간격의 유지 정도, 이식된 삼목의 직립성을 조사하여 이식작업의 질적 성능을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

묘목의 식재 양식은 수중에 따라 달라질 수 있으나 아직 국내에서는 표준 양식이 설정된 바 없으며, 북유럽의 경우 조간간격은 75 cm로 2 조를 이식하고 향후 관리 및 수확 목적으로 트랙터가 사용되는 것을 대비하여 150 cm 간격을 두고 다시 2 조를 이식하고 이때 주간간격은 60 cm를 유지하는 것을 추천하고 있다(SRC Grower guide). 본 연구에서의 이식기는 조간간격 75 cm의 2조식 작업기로 개발하였으며, 주간간격은 이식부 작동주기를 조절함으로써 원하는 간격을 유지할 수 있도록 하였다. 목표 작업성능으로는 숙련된 작업자를 기준으로 약 10배 정도의 생산성을 달성할 수 있도록 일일 약 8,000~10,000 본의 이식 성능을 낼 수 있도록 작업기

를 설계하였다. 이때, 트랙터의 주행속도를 10 cm/s로 세팅 시 매 6 초마다 2 분씩의 묘목이 이식되며 1 일 8 시간 기준 총 9,600 본의 묘목을 이식하게 된다(Shin and Kim, 2009).

삽목이식기는 크게 이식부, 토양다짐부, zero수평속도장치, 프레임과 트랙터에의 연결부 및 공압발생장치부로 구성 되어 있다.

가. 이식부

1) 이식부의 구성

이식부는 이식침과 그 지지대, 고정프레임 및 이를 구동하는 공압실린더로 구성되며, 그림 3에서 보는 바와 같이 수직 방향 LM가이드(길이 930 mm)를 타고 상하운동하고 동시에 수평 방향 LM가이드(길이 1,000 mm)를 타고 전후 방향으로 자유롭게 이동할 수 있도록 되어 있다. 여기서, 이식침은 직경 20 mm, 길이 250 mm의 파이프로 제작되었으며 상단에

Fig. 3 Transplanting-needle device.

는 삽목 투입을 용이하게 하기 위한 깔때기 모양의 입구를 설치하고 하단에는 끝이 뾰족하고 양쪽으로 개폐되는 원뿔형 도어를 설치한 구조로 2개 1조의 공압실린더($\varnothing = 40$ mm, stroke = 500 mm)에 의해 토양내부로 박히게 된다. 이식부 지지프레임이 공압실린더에 의해 하강할 때 토양지지대가 토양 표면에 닿은 상태에서 이식침만 토양 내부로 진입하게 된다. 이때 이식부 고정프레임과 지지대에 연결된 인장스프링은 이식침이 토양내로 진입하면서 고정프레임을 아래 방향으로 당겨주는 역할을 하여 이식작업이 진행되는 동안 이식부 전체를 지면에 밀착하고 있는 효과를 내게 한다. 따라서, 트랙터가 주행 중임에도 불구하고 이식부는 안정적으로 정지 상태를 유지할 수 있다.

그림 4는 이식침부와 원뿔형의 삽목 배출구에 대한 상세도면이다. 2조의 원뿔형 도어(⑤)는 이식침 고정 프레임(②)에 고정되었다. 2개의 봉(④)의 상단에 스프링(③)은 평상시에 이식침 파이프(①)를 상방으로 받치고 있어 이식침 파이프가 도어를 잡아당겨서 닫히게 하는 구조이다. 하지만 이식침이 토양에 삽입 되었다가 올라 올 때에는 토양지지대의 마찰판에 의해 이식침 파이프가 아래로 당기는 저항이 걸리면

Fig. 4 Transplanting-needle equipped with discharge door.

Fig. 5 Soil supporter and friction pad in detail.

Fig. 6 Operation mechanism((a) before op., (b) soil supporter stops at soil surface, (c) needle down, (d) door open, needle up, soil compaction, (e) needle up, (f) after op.).

Fig. 7 Soil compaction device.

Fig. 8 Zero horizontal velocity device.

압축스프링이 압축되면서 이식침 파이프가 도어를 밀어 열리게 된다. 이식침부가 마찰판을 완전히 통과하게 되면 압축되었던 압축스프링이 이식침 파이프만을 상승시켜 도어를 당겨서 닫히게 한다. 그림 5는 설치된 마찰판의 상세 모습이다.

2) 이식부의 작동원리

이식부 작동이 시작되면 그림 6(a)에서의 상태에서 공압실린더에 의해 이식부 고정프레임과 토양지지대가 함께 하강하며(그림 6(b)), 토양지지대가 토양 표면에 닿게되고 이식침은 계속 하강한다(그림 6(c)). 최하단에서 이식부 고정프레임이 리미트스위치를 작동하게 되고 이 신호에 의해 이식침은 상승하며 동시에 토양진압부 공압실린더가 작동되어 진압판이 경사진 채로 토양을 다지게 된다(그림 6(d)). 리미트스위치가 on이 되면 진압판이 작동하고 이식침이 상승하는데 이때 마찰판이 이식침의 복귀를 방해하는 동안 원뿔형 도어는 열린 상태를 유지하다가(그림 6(e)), 완전히 마찰판을 벗어나게 되면 도어가 닫히고 그때부터 토양지지판이 올라가 실린더가 처음 상태(그림 6(f))가 되면 한 사이클을 마치게 된다.

나. 토양진압부

이식침이 목표 지점까지 토양내로 진입하였다가 상승하는 시점에서 삼목은 토양내에 남겨지게 되며 이식침이 상승하면서 동시에 토양다지기가 하강하여 복을 돌우는 방식으로 토양 진압을 하게 된다. 토양다지기는 이식부의 한 부분으로서 공압실린더($\varnothing = 20 \text{ mm}$, stroke = 50 mm)로 작동되는데 그림 7에서 보는 바와 같이 하단부의 진압판이 평소에는 지면에 대하여 수평을 유지하고 있다가 공압실린더가 작동하면 링크 및 힌지에 의해 경사진 판 모양이 되어 마치 양손으로 나무를 움켜쥐고 흙을 누르는 것 같이 설계하였다.

다. zero 수평속도장치 및 삼목 투입부

zero 수평속도장치는 그림 8에서와 같이 이식부가 토양내에 박혀 있는 상태에서 트랙터의 주행이 가능하게 하는 장치로서 2조의 로드레스실린더(CDY1-B-20*800, Timwhamachinery, Ningbo, China; $\varnothing = 20 \text{ mm}$, stroke = 800 mm, thrust = 90 N)와 고정판으로 구성되어 있다. 즉, 이식부가 토양에 박힌 상태에서 트랙터가 전진하면 이식부는 수평방향의 LM가이드를 따라 뒤로 밀려나게 됨으로써 지표면에 대한 이식부의 상대속도가 0이 되는, 즉 이식부는 정지해 있는 상태

를 만들 수 있다. 한 싸이클의 이식작업이 완료되면 로드레스 실린더는 이식부를 수평LM가이드의 선단부로 이동시켜 계속 밀고 있는 형태로 다음 싸이클을 준비한다.

투입부는 그림 9에서와 같이 작업자가 삽목을 이식부에 집어 넣는 작업을 함에 있어서, 새로운 이식 싸이클이 개시되기 전 적당한 시간에 미리 삽목을 준비해 둠으로써 시간적 여유를 갖을 뿐 아니라 이식부가 장치의 하단에 위치하여 허리를 굽혀서 작업하는 어려움을 방지하기 위하여 이식부 입구 상단에 경사지게 설치하였다. 직경 20 mm, 길이 약 200 mm의 파이프 하단에 개폐도어를 설치하여 이를 소형 공압실린더($\varnothing = 10$ mm, stroke = 150 mm)로 구동할 수 있도록 설계하였다.

라. 프레임 및 공압발생장치

삽목 이식기는 이식침이 공압에 의해 토양 내로 박혀야 하는 구조이므로 충분한 자중을 갖고 있어야만 작업시 차체가 들리지 않는다. 따라서 프레임은 3.2t 사각봉(75 mm x 75 mm)으로 제작하였으며, 여기에 2개의 지지륜을 좌우에 설치하고 앞단은 트랙터의 하부링크에 연결될 수 있도록 하였다.

프레임 선단에는 공압컴프레서 헤드(소요동력 : 2.2 kW, 정격속도 : 848 rpm, 공기토출량 : 225 lpm, 공기압력 : 0.6

~0.9 MPa)를 설치하여 이를 PTO로 구동하였으며, 중간부에 공압탱크를 두고 그 위에 작업자 의자를 설치하여 후방을 바라보며 작업할 수 있도록 하였다.

마. 주간간격 조절장치

그림 10에 보이는 바와 같이 삽목이식기 지지륜에 스포로켓과 근접센서(PR12-4DN, Autonics, Yangsan, Korea)를 설치하여 지지륜이 회전하면서 발생하는 펄스의 수를 세어 주행거리를 측정하는 방식을 적용하였다. 설정된 거리 주행 후 카운터는 신호를 출력하며 이에 따라 이식부 작동 싸이클이 시작됨으로써 주행속도에 관계없이 주간간격을 유지할 수 있다. 그러나, 이식부의 작동속도는 일정하므로 만일 토양 표면의 굴곡이나 이식기 자체의 경사로 인하여 지상고가 변하면 신호발생 시점과 이식 시점사이의 시간 간격이 변할 수 있어서 주간간격은 약간씩 변할 수 있다는 단점이 있다.

바. 자세제어부

본 연구에서 개발된 이식기는 향후 경사지에서도 적용될 수 있도록 이식기의 롤링(좌우 경사) 및 피칭(전후 경사) 제어가 가능하도록 설계되었다. 그림 11에서 보는 바와 같이, 이식기 선단부에 복동 실린더(①)를 포함한 3절링크(②)를

Fig. 9 Stem-cutting input device.

Fig. 10 Planting distance control device.

Fig. 11 Configuration of transplanter attitude control device.

구성하여 유압실린더의 길이제어를 통해 이식기가 지지륜을 중심으로 이식기 전단부가 상승 또는 하강하여 피칭(전후)방향의 제어를 할 수 있도록 하였다. 또한 3절링크 중 한 부분(③)을 스핀들과 베어링, 하우징으로 조합하여 트랙터 하부 링크와 연결하여 이식기가 롤링 방향으로 자유롭게 움직일 수 있게 하였다. 롤링방향의 제어는 갈매기 모양 구조물(⑤)의 가운데 한 점을 프레임의 힌지로 연결하고 그 끝에 차륜을 부착하고 반대편은 프레임에 힌지로 고정된 복동식 유압실린더(④)를 연결함으로써 좌우측 차륜의 높이를 독립적으로 조정하여 수행되도록 설계하였다.

자세제어부는 이식부 작동과는 관계없는 독립된 시스템으로 제어가 이루어질 수 있도록 설계하였으며, 본 논문에서는 수동제어를 통해 지상고만 조절할 수 있도록 하였다.

사. 시스템 제어부

본 연구에서 개발한 이식기는 2조식으로 각 조는 독립적으로 제어되어야 한다. 왜냐하면 이식침이 토양내로 박힐 때 각 이식침이 위치하게 되는 부분의 토양 강도에 따라 진입속도가 달라지거나 아예 완전 진입이 불가능한 경우가 발생할 수 있기 때문이다.

이식부의 제어장치로는 입출력포트 각 8점씩과 CPU 및 파워모듈이 일체로 되어있는 초소형 PLC(XBM-DN16S, LS Industrial Systems, Cheongju, Korea)를 사용하였다. 입력신호로는 비상정지버튼, 좌우측 이식부의 하강 및 상승 완료 신호를 얻기 위한 각각 2개의 리미트스위치, 로드레스실린더를 제어하기 위하여 수평방향의 LM가이드 전·후단에 설치한 2개의 리미트스위치, 주행거리 측정을 위하여 이식기 지지륜 스프로킷에 부착된 1개의 근접센서로 총 8개가 사용되며, 출력신호로는 좌우측 이식침 작동을 위한 2개의 공압실린더 및 토양 다짐용으로 2개의 공압실린더, 투입부 개폐를 위한 2개의 공압실린더(1개의 솔레노이드 밸브로 동시 작동), 로드레스실린더 등의 구동을 위하여 총 6개의 솔레노이드 밸브 작동신호가 있다.

제어 알고리즘은 그림 12에서와 같이, 준비가 완료되면 비상정지 버튼을 해제하거나 이식기 프레임 지지륜이 정해진 거리만큼 진행되었을 때 나오는 카운터 출력신호에 따라 싸이클은 개시된다. 제일 먼저 투입부가 0.5초 가량 열리게 되는데, 이때 로드레스실린더는 항상전단부에 위치해 있어야 한다. 투입부가 닫히는 동작에 의해 이식부가 하강을 시작하며 목표지점의 깊이까지 내려가게 되면 리미트 스위치가 작동되고 이식부는 상승한다. 여기서, 이식부의 하강과 함께 로드레스실린더가 이식부를 전단으로 밀고 있던 동작은 해제되어 이식부가 자연스럽게 LM가이드를 타고 뒤로 후퇴할 수 있게 해준다. 이식부 상승과 동시에 토양 다짐기가 하강해서 토양 표면을 복돋우면서 다지고 올라간다. 좌우측 이식침 모

Fig. 12 Flowchart for control algorithm (ZHV ; Zero Horizontal Velocity device, T ; Transplanting device).

두가 상부위치에 도달해야만 로드레스실린더를 작동시켜 이식부를 전단에 위치하게 함으로써 한 싸이클을 완료한다.

만약의 경우 이식부가 하강했는데도 필요한 이식 깊이에 도달하지 못하면 리미트스위치를 작동하지 못한 상태로 이식부는 수평방향 LM가이드를 타고 계속 후퇴하다가 마침내 프레임 끝단에 닿아 이식부가 꺾이는 상황이 발생한다. 따라서, 로드레스실린더 후단에 리미트스위치를 설치하여 주어진 시간 내에 이식이 이루어지지 않으면 이식을 포기하고 이식침을 강제로 상승시켜 다음 싸이클을 준비하게 한다.

아. 시작기의 주요 제원 및 작업조건 설정

본 연구에서 개발된 삼목이식기 시작기를 그림 13에 나타내었다. 이식작업기의 전장은 약 3.1 m, 전폭은 1.9 m, 전고는 1.2 m이며 이식부의 지상고는 약 0.16~0.23 m의 범위내에서 조절가능하도록 하였다. 이식부, zero 수평속도장치, 투

(a) drawing

(b) real view

Fig. 13 Prototype of stem-cuttings transplanter.

입부, 토양진압부 등에 사용되는 공압은 PTO에 의해 구동되는 공기압축기로부터 공급받는다. PLC 및 솔레노이드밸브 구동용 전원은 트랙터 배터리 전원을 이용한 12~24 VDC 변환기로부터 공급받도록 설계되었다.

이식깊이는 이식부 지지대에 부착된 리미트스위치와 토양 지지대의 상단에 부착된 지그와의 거리에 비례하므로 리미트 스위치의 부착 위치를 조절하여 약 0.11~0.15 m의 범위 내에서 조절가능하도록 하였다.

주간간격은 주행거리 측정장치로부터의 펄스 입력 개수를 카운팅하여 싸이클 개시 신호를 출력하는 방식으로 제어 프로그램에서 소프트웨어적으로 조절가능하도록 하였으며, 주간간격 설정에서의 분해능은 약 82 mm이다.

자. 성능실험방법

작업기의 성능은 이식작업기의 기계적 성능과 이식 작업의 질적 성능으로 구분하여 평가하였다.

1) 이식작업기의 기계적 성능

개발된 이식작업기의 기계적 성능은 단위시간당 이식할 수 있는 삽목의 개수로 나타낼 수 있으며, 이는 각 공정별로 소요되는 시간을 측정하여 최악의 조건에서 이식 싸이클의 소요 시간으로 구할 수 있었다. 각 공정 별 소요 시간은 이식부 작동 개시 신호부터 하강 완료시까지의 시간, 다시 이식부가 상승 완료할 때까지의 시간과 뒤로 후퇴되었던 이식부가 로 드레스실린더에 의해 선단부로 원위치할 때까지의 시간으로서 PLC 제어프로그램내에 타이머기능을 사용하여 측정하였다. 이식침부에 부하가 걸리지 않도록 공중에 띄워 놓은 상태에서 실제 이식작업 중 이식침부가 토양내로 삽입 또는 이탈시 저항이 걸리는 상태에서 각 공정에 소요되는 시간을 측정하였으며, 이때 이식상의 준비 상태 및 노면 굴곡에 따라 지상고가 달라질 수 있는 것을 시뮬레이션하여 자세제어장치를 조작하여 이식부의 지상고를 160, 190, 230 mm로 조절하

며 실험을 수행하였다.

2) 이식부 삽목 성능

이식 성능 포장실험은 평지의 마사토에서 트랙터용 로타리로 1회 경운 및 평탄 작업 후 수행하였으며, 삽목으로서 길이 약 17 cm, $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$ 의 단면을 갖는 나무 막대기를 사용하였다. 15 m 길이의 포장은 약 22회의 이식작업이 가능한 거리로서, 앞에서와 같이 3 수준의 지상고에서 성능 실험이 수행되어 총 132개의 데이터를 획득분석하였다. 이때 트랙터의 주행속도는 약 0.36 km/h로서 안전을 대비하여 초저속으로 운전하였다. 성능 평가시 목표 이식깊이와 주간간격은 각각 130 mm 및 650 mm로 설정하였다.

삽목 이식 작업의 질적 평가를 위하여 이식 완료 후 이식 깊이, 주간간격 및 삽목의 기울기 등을 측정하였다(Pebrian and Yahya, 2003; Strivastava et al., 2006). 이식 깊이는 지면으로 올라온 부분의 길이를 측정하여 구하였으며, 삽목의 기울기는 측면의 흠을 파내고 상공에서 연직선을 띄워 삽목에 닿게한 후 각도기로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

표 1은 삽목 이식기의 각 공정들을 구분하여 작동 시간을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 실제 이식작업을 진행하는 경우는 토양 내 진입 및 이탈 시 저항으로 인하여 무부하의 경우보다 최대 0.4초 정도가 더 소요되는 것으로 나타났다. 또한 자세제어를 하면서 지상고가 변하게 되므로 지상고가 높아짐에 따라 이식침 하강 및 상승시 0.2~0.4초 정도 더 소요되는 것으로 나타났다. 표 1에서 짧은 시간은 최저 지상고일 때 작동에 소요되는 시간을 나타낸 것이다. 또한, 공압 호스의 길이를 맞추는 등 좌·우측 이식침부가 동시에 작동하게 하려고 노력하였으나 공압실린더에 의한 이식침부의 승하강 속도가 다르게 나타났는데 이는 이식침 제작 및 조립과정에서 정확도의 한계에 기인한 것으로 판단된다. 투입부 및 zero

Table 1 Required time for each operation steps

	Feed	Left-side needle		Right-side needle		ZHV return
		Descending	Ascending	Descending	Ascending	
no load	0.5	0.6~0.8	0.5~0.7	0.7~0.9	0.5~0.7	0.5
load		0.6~0.8	0.6~0.9	0.9~1.3	0.6~0.9	

[unit : s]

Table 2 Transplanting performance data

Clearance (mm)	Left-side			Right-side		
	Planting depth (mm)	Planting distance (mm)	Leaning angle (deg)	Planting depth (mm)	Planting distance (mm)	Leaning angle (deg)
160	127.2 (2.1)	650.7 (0.92)	87.3 (1.42)	128.0 (3.35)	651.2 (0.87)	92.0 (0.89)
190	128.2 (3.15)	656.2 (1.7)	87.1 (0.9)	127.6 (3.27)	655.3 (1.49)	92.0 (0.91)
230	127.9 (2.13)	657.6 (1.33)	87.1 (1.03)	127.5 (2.96)	658.1 (1.03)	92.1 (0.85)

(numbers in the parenthesis ; C.V. in %)

Fig. 14 Transplanted stem-cuttings with soil firmation.

수평속도장치 작동에 소요되는 시간은 항상 일정하므로 결국 이식기는 최저 2.2초 및 최고 3.2초 범위 내에서 한 싸이클을 완료함을 알 수 있다. 따라서, 트랙터의 최대 작업속도는 0.7 km/h를 넘어서는 안되며, 이론적으로 시간 당 최소 2,250개의 삼목 이식이 가능하게 된다. 실제 성능평가를 위한 이식작업을 완료한 모습을 그림 14에 나타내었으며, 이식작업을 수행한 결과 총 132개의 삼목에 대한 이식 성공율은 100%이었다.

표 2는 이식작업의 질적 성능을 규명하기 위하여 주어진 실험 구간에서 3회 실험을 수행하여 이식 깊이, 주간 간격 및 이식된 삼목이 수직선에 대한 기울어짐의 정도를 나타낸 것이다. 이식 깊이의 경우 설계 목표치인 130 mm 근방에서 평균 약 127 mm를 나타내었으며 CV값이 3.4% 이내로 나타남으로써 균일한 깊이로 이식되었음을 알 수 있다. 주간간격의 경우도 설계 목표치인 650 mm를 기준으로 1~8 mm의 오차

를 보였으나 CV값은 1.7% 이내로 나타나 주간간격 또한 균일하게 분포되었음을 알 수 있었다.

일반적으로 삼목 이식시 식재 각도에 대하여 명확한 규정은 없으나 가능한 한 똑바로 하는 것이 바람직하다고 추천하고 있다(Kim, 1977; Strivastava et al., 2006). 본 연구에서 개발한 이식기로 작업하였을 때 대부분 직립으로 이식된 것을 확인하였으나, 후방에서 보았을 때 상단부가 약간 좌우로 벌어지는 형태를 보였으며 계측 결과 어느 경우도 수직선에 대하여 3°를 넘지 않았다. 이것은 조립 완료된 이식기의 좌우측 이식부와 마찰판 사이를 정밀하게 측정해 본 결과 좌우측 이식침부가 서로 완전 평행을 이루지 못하고 하방으로 가면서 좁아지는 것으로 조립된 이식기의 구조적 문제에 의해 기인된 것으로 판명되었다. 측방에서 보았을 때 이식된 삼목은 좌우측 모두 약 1~2°의 범위 내에서 진행방향으로 기울어진 것으로 관측되었다.

한편, 이식기의 지상고 변화는 이식 깊이와 이식된 삼목의 기울기에는 영향을 미치지 않았으며, 다만 지상고가 높아지면서 주간간격이 증가하는 경향을 보였으나 최대 약 8 mm 이내로서 그 차는 크지 않았다. 이것은 지상고가 높아지면 이식작업 개시 신호 발생후 이식침의 하강 시간이 상대적으로 더 소요되면서 최초의 이식 위치가 뒤로 밀리면서 오차가 증가했기 때문으로 예측되었다.

4. 요약 및 결론

단기 순환림 생산을 위한 트랙터 견인형 2조식 삼목 이식기를 개발하였다. 2조의 이식부는 각각 독립적으로 제어되며 삼목이 들어 있는 이식침을 수직 하강하여 토양내로 진입 시

킨 후 배출구를 연 상태로 이식침을 상승시키며 동시에 진압 장치를 구동시킴으로써 삽목이 이루어지는 방식을 적용하였다. 이식이 이루어지는 동안에도 트랙터는 계속 전진하게 되므로 이식작업 중에는 이식부가 정지상태를 유지할 수 있도록 zero 수평속도장치를 개발하였다. 본 기계는 반자동식 이식기로 준비된 삽목을 1인의 작업자가 각 조의 투입구에 하나씩 미리 넣어 주어야하며, 이식기의 주요 성능 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 2조 한 사이클 완료하는데 필요한 시간은 최대 3.2초로서, 이론적으로 시간 당 2,250 개의 삽목 이식이 가능하며, 이때 트랙터의 주행속도는 0.7 km/h를 초과해서는 안된다. 성능실험에서 0.36 km/h로 주행하며 이식작업을 수행한 결과 총 132개의 삽목에 대하여 100%의 이식성공율을 나타내었다.
- (2) 이식깊이는 110~150 mm의 범위내에서 조정 가능하며, 성능 실험 결과 목표 이식깊이 130 mm에서 평균 약 127mm의 깊이로 이식되었으며 이때 CV 값은 3.4% 이내로서 비교적 균일성을 유지한 것으로 나타났다.
- (3) 주간간격은 이식기 지지륜에 설치된 주행거리 측정장치인 스프로킷으로부터의 펄스를 입력받는 카운터의 설정치 셀팅을 통하여 소프트웨어적으로 조정 가능하며, 성능실험 결과 목표 주간간격 650 mm에서 실제로 651~658 mm의 범위 내에서 간격이 유지되었으며, 이때 CV값이 최대 1.7%로 주간간격의 균일성을 잘 유지한 것으로 나타났다.
- (4) 이식이 완료된 삽목들은 연직선 기준으로 3° 이내의 직립성을 유지하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Choi, W. C., D. C. Kim, I. H. Ryu and K. U. Kim. 2002. Development of a seedling pick-up device for vegetable transplanters. Transactions of the ASAE 45(1):13-19.
2. Kim, C. S. 1977. Forest Technology Extension ; Introduction of improvement of species of trees - populus alba x P. glandulosa. Forest Magazine 1977 October:59-67. (in Korean)
3. Kim, J. Y., S. H. Park, S. C. Cho, C. D. Choi, C. K. Kim, T. Y. Kwak and Y. A. Shin. 2006a. Transplanting performance for Red-pepper seedling of automatic transplanter. Proceedings of KSAM 2006 Winter Conference 11(1):26-30. (in Korean)
4. Kim, S. H., T. K. Kang, G. I. Lee, C. S. Lee and K. S. Lee. 2006b. Development of Ginseng Transplanter. Proceedings of KSAM 2006 Summer Conference 11(2):19-23. (in Korean)
5. Lim, K. B. 1991. Principles of Silviculture. p. 81. Hyangmoon-sa, Seoul, Korea. (in Korean)
6. Min, Y. B. and S. D. Moon. 1998. Automatic feeding and transplanting mechanism for plug seedling transplanter. Journal of KSAM 23(3):259-270. (in Korean)
7. Park, J. G. 2008. Bio-production Machinery Engineering. p. 435. CIR Publication company, Seoul, Korea. (in Korean)
8. Park, S. H., S. C. Cho, J. Y. Kim, D. K. Choi, C. K. Kim and T. Y. Kwak. 2005. Development of rotary type transplanting device for vegetable transplanter. Journal of Biosystems Engineering 30(3):135-140. (in Korean)
9. Pebrian, D. E. and A. Yahya. 2003. Preliminary field and cost evaluations of a prototype oil palm transplanter. Journal of Oil Palm Research 15(1):41-54.
10. Shin, B. S. and D. H. Kim. 2009. Development of cut-tree transplanter for short-term rotation coppice (I) - Prototype Design -. Proceedings of KSAM 2009 Winter Conference 14(1):353-356. (in Korean)
11. Strivastava, A. K., C. E. Goering and R. P. Rohrbach. 2006. Engineering Principles of Agricultural Machines. pp. 264-265. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joshep, MI, USA.
12. Windell, K. 2003. Tree seedling planters. In: Riley L. E., Dumroese R. K., Landis T. D., technical coordinates. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Association-2002. Ogden, UT: USDA Forest Service, Proceedings RMRS-P-28:108-116.
13. Wu, J. C., D. S. Cha, J. H. Oh, J. S. Lee, B. H. Hwang, Y. S. Bae, N. H. Kim, W. S. Kang, S. H. Kim, B. S. Shin and G. H. Lee. 2006. The Feasibility and the Basic Plan for the Forest Biomass as an Energy. Final Report to Kangwon Province. Institute of Forest Science, Kangwon National University, Chuncheon, Korea. (in Korean)
14. _____ SRC Growers Guide. Coppice Resources Ltd, www.coppiceresources.co.uk