

유동식 가선집재시스템 Live Skyline의 역학분석에 관한 연구^{1,2,3}
정주상⁴ · 정우담⁴

**A Study on Analyzing the Live Skyline
Cable Logging Mechanics^{1,2,3}**

Chung, Joo Sang⁴ and Woo Dam Chung⁴

요 약

이 논문에서는 유동식 가선을 지니는 집재시스템의 특성을 설치방법에 따른 구조해석의 측면에서 검토하고, 유동식 가선집재시스템중 가장 기본적인 형태에 속하는 live skyline의 cable 역학분석을 위한 전산모델을 개발하였다. 전산모델은 live skyline 작업을 지면으로부터의 가선의 높이를 항상 일정하게 유지하는 'true live skyline' 방식과 가선을 일정한 높이 이상으로 유지하는 'live skyline with lift' 방식의 두 가정에 기초하여 각각 만들어졌다. live skyline의 역학적 효율성과 작업특성을 제시할 목적으로 이 전산모델들을 가상적인 지형자료에 적용하여 사례분석을 실시하였다. 먼저 standing skyline의 허용반송량과의 비교에 의해 live skyline의 역학적 효율성을 분석하였고, 둘째 견인중인 벌도목의 기하학적 구조가 허용반송량에 미치는 영향을 분석하였으며, 마지막으로 'true live skyline'과 'live skyline with lift'의 개념상의 특성을 허용반송량 계산에 의한 사례분석에 의해 비교검토하였다.

ABSTRACT

In this paper, the characteristics of cable logging systems, of which skyline length is adjustable during operation, are discussed from a standpoint of system geometry. Among the cable logging systems, the live skyline is the typical one, of which operation is easy to understand. To analyze the cable logging mechanics of the live skyline, computer models were developed.

In developing the computer models, the concept of the live skyline operation was classified into 'true live skyline' and 'live skyline with lift'. The former assumes to adjust skyline length continuously to maintain the skyline clearance over ground constant during inhaul; the latter assumes to shorten the skyline length only to keep the minimum skyline clearance during inhaul.

The computer model was used in investigating the mechanical efficiency and the operational characteristics of the live skyline system. First, the payload capability of live skyline was compared with that of standing skyline. Second, the effect of the change in the log-drag geometry on the payload capability of live skyline was investigated. Finally, the payload capability of live skyline with lift was compared with that of true live

¹ 接受 1994年 3月 22日 Received on March 22, 1994.

² 이 연구는 1993-1994년도 한국과학재단 핵심전문과제 연구결과의 일부임. (과제번호 923-1500-001-2)

³ 이 논문에서 제시하는 live skyline 분석을 위한 source program은 부록에 첨부하였으나, 그외에 standing skyline 분석 source program은 저자에게 연락 바람.

⁴ 서울대학교 산림자원학과 임업경영수확공학연구소 Department of Forest Resources, Seoul National University, Suwon, Korea.

skyline as an effort to explain the concepts of true live skyline and live skyline with lift.

Key words : Characteristics of cable logging systems, cable logging mechanics, true live skyline, live skyline with lift, standing skyline, payload capability, computer model.

서 론

가선집재시스템은 집재기종의 제원이나 시스템 설치방법 등에 의해 작업특성 및 생산성이 달라질 수 있다. live skyline은 작업중 가선의 길이를 조절하여 작업의 생산성을 증진시킬 수 있는 여러가지 유동식 가선집재시스템중 가장 기본적인 형태에 속하는 것이다.

live skyline을 비롯한 유동식 가선집재시스템들은 구미에서는 고정식 시스템들 못지않게 많이 사용되는 것으로서 오히려 고정식에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 이 시스템은 가선의 조절을 통해 집재시스템의 반송용량을 증대할 수 있고, 또한 반송중인 벌도목을 효율적으로 관리하여 작업의 안전성을 증진할 수 있다. 특히 여러가지 유동식 가선집재시스템들중 live skyline은 시스템 설치가 단순하여 짧은 시간에 쉽게 설치할 수 있는 장점이 있어서 집재작업에 보다 효율적이다.

한편 문헌고찰에 의하면 국내임업에서는 standing skyline, multispan, endless Tyler system 등은 잘 알려져 있으나 live skyline과 같은 유동식 가선집재시스템은 비교적 잘 알려지지 않은 것으로서 유동식 가선집재시스템에 대한 연구노력은 거의 없었던 것으로 판단된다. 그 이유는 국내임업에 가선집재기가 도입된 역사가 짧았고, 또한 유동식 가선집재기의 이용에 유리한 타워형 가선집재기의 사용기술이 일반화되지 못했던 것에 기인한다.

이러한 가선집재시스템에 대한 이해는 우선 시스템의 역학적 특성을 이해하는 것이 중요하다. 즉, 가선집재의 역학적 특성을 이해하므로써 기종선택, 작업여건에 따른 시스템 설치에 대한 이해의 증진은 물론 작업의 효율성을 높이기 위한 작업설계가 가능하기 때문이다.

일반적으로 가선집재시스템의 역학적 성질을 분석하는 일은 매우 복잡한 계산과정을 요한다. 왜냐하면 이러한 분석은 시스템과 벌도목의 제

원, 지형경사 등을 동시에 고려해야 함은 물론 여러가지 인자들에 따라 변하는 cable철선의 역학적 평형조건들을 찾는 일이 쉽지않기 때문이다. 예를 들어 정주상(1993)은 고정식 가선집재시스템중 standing skyline에 대한 역학 분석에 요구되는 이론적 체계를 소개하고 현수선원리를 적용한 전산모델을 개발한 바 있다. 이 전산모델은 복합적인 인자들로 구성된 초월함수들의 형태를 수치해석기법(numerical method)으로 풀고 있다.

이미 정주상(1993)에 의해 standing skyline에 적용되었던 역학평형함수들과 수치해석기법이 유동식 가선집재방식에 그대로 적용될 수 있으므로 이 논문에서는 자세한 언급을 하지 않았다. 다만 live skyline은 설치방식과 작동방식이 standing skyline과 상이하여 역학적 해석을 위한 계산과정이 달라지게 되므로 전산모델의 계산흐름도를 중심으로 설명한다. 또한 이 전산모델의 응용성을 검토할 목적으로 사례분석에 의해 standing skyline과 live skyline의 허용반송능력을 비교하고, 벌도목 건인의 기하학적 형태가 live skyline의 허용반송능력에 미치는 영향을 분석하며, 마지막으로 'true live skyline'과 'live skyline with lift'의 개념상의 차이를 예시하기 위한 분석을 하였다.

설치방식에 따른 유동식 가선집재시스템의 유형 고찰

가선집재시스템은 지형조건, 집재기의 종류 및 제원, 반송기의 형태 등에 따라 여러가지 형태의 설치방식이 가능하다. 이와같은 가선집재시스템 설치방식들에 대해서는 우보명(1987) 등에 의해 부분적으로 국내의 문헌에 소개된 바 있으나, 설치방식들은 기종 및 반송기의 종류에 따라 달라질 수 있음은 물론 대개 여러가지 형태로의 변형이 가능하다. 따라서 여기서는 가선집재시스템의 역학구조 해석의 기본이 되는 기하학적 구조에

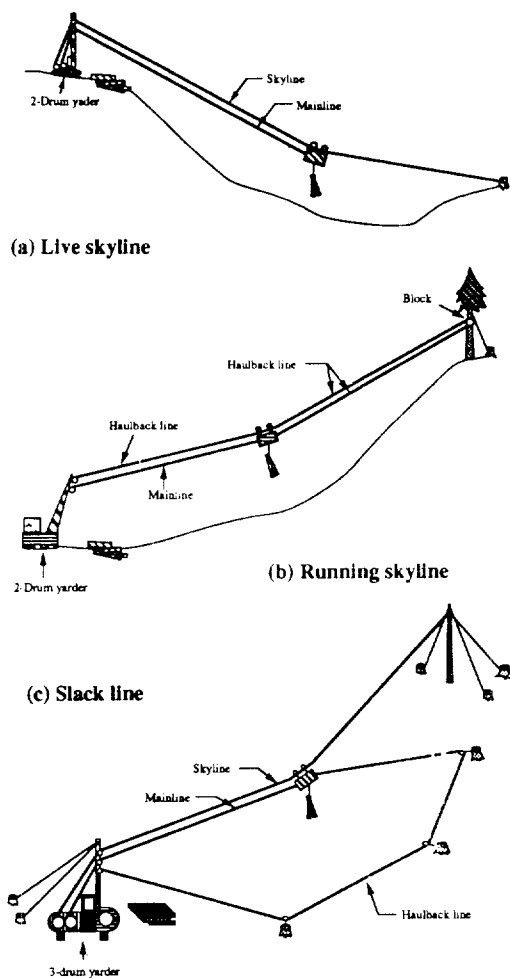


Fig. 1. Diagrams illustrating skyline systems of which skyline length is adjustable during inhaul.

의해 설치방식을 분류한다.

가선집재시스템은 가선의 양끝이 고정된 고정식 가선집재시스템과 한쪽끝만 고정된 유동식 가선집재시스템(Fig. 1)으로 구분할 수 있다. 고정식 시스템은 작업중 가선의 높이를 야더 운전자가 조절할 수 없는 반면 유동식에서는 드럼을 감거나 풀어주어 가선의 높이를 조절할 수 있다. 따라서 집재시스템을 유동식으로 설치할 경우에는 야더에 구동이 가능한 가선용 드럼이 있어야 하며, 고정식의 경우는 잠금장치를 이용하여 드럼을 고정시켜 이용하거나 별도의 철선을 준비하여 가선을 설치하여야 한다.

유동식 가선집재시스템에는 가장 기본적인 형태로 live skyline system(Fig. 1a)이 있으며 standing skyline system과 동일하나 전술한 바와 같이 가선용 드럼이 부착되어 장력조절을 통해 가선의 높이를 조절할 수 있다. 그러나 live skyline system이 하향집재에 이용되기 위해서는 드럼의 강한 정지력과 고도의 기술이 요구되므로, 주로 상향집재에 적용되고 있다. 이러한 단점을 보완하여 하향집재에 적용가능한 시스템이 slackline system(Fig. 1c)이다. live skyline system의 반송기에 되돌림줄을 부착시켜 하향집재시 빈 반송기를 벌도목 위치로 이동시킬 수 있음은 물론 가선의 장력을 풀고 되돌림줄을 당겨 줌으로써 횡취거리를 다소 증대시킬 수 있다. running skyline system(Fig. 1b)도 유동식 가선집재시스템의 일종으로 가선의 한쪽끝은 드럼에 다른 끝은 지면 대신 반송기에 고착되어 있는 되돌림줄이 있는 것이 특징이다. 이 시스템은 반송기를 중심으로 되돌림줄과 당김줄간의 장력 조절을 가능하게 하여 작업의 안정성을 유지할 수 있고, 반송용량을 증대시킬 수 있으며, 또한 반송속도를 쉽게 조절할 수 있다는 잇점이 있다. 반면 당김줄과 되돌림줄의 장력조절 등 야더 운전에서 숙련도가 요구되고, 충분한 동력제어기능을 갖춘 야더가 요구된다.

Live Skyline의 개념과 시스템 해석을 위한 가정

live skyline은 가선의 높이를 조절함으로써 벌도목을 완전히 들어올려 견인하거나 벌도목의 앞부분만을 들어올려 지면으로부터 일정한 높이를

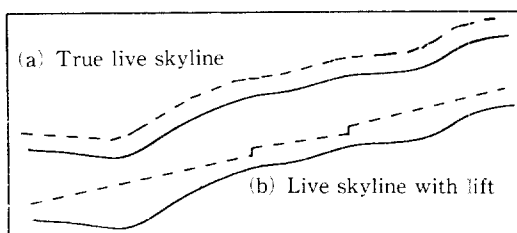


Fig. 2. Diagrams illustrating the load path of (a) the true live skyline and (b) the live skyline with lift. (The dotted line and solid line indicate the load path and ground profile, respectively.)

유지하면서 운반하는 시스템이다. 짐재작업시 가선의 길이를 조절하는 방법은 두가지를 생각할 수 있다. 먼저 그림 2a에서 보듯이 지면으로부터 가선의 높이를 항상 일정하게 유지하는 경우를 가정할 수 있다. 즉, 지형경사에 따라 가선의 길이를 연속적으로 조절하여 가선의 처짐을 가장 효율적으로 이용하는 개념으로 흔히 'true live skyline'이라고 한다. 그러나 실제의 임지 표면경사가 불규칙하거나 장애물들이 산재해 있으므로 지면으로부터 가선의 높이를 일정하게 유지시키는 것은 어렵다. 따라서 그림 2b에서와 같이 가선의 높이를 일정하게 유지하기 위한 조건이 불리해지는 경우에만 반송중인 가선의 길이를 줄여 그 높이가 이상을 유지하게 한다. 이와같이 불연속적으로 가선의 길이를 조절하는 것을 'live skyline with lift'라고 한다.

전산모델의 구조와 계산체계

모델 I : 연속적으로 가선의 길이를 조절하는 경우 (True Live Skyline)

전술한 바와 같이 true live skyline은 지형경사에 따라 지면으로부터 가선의 높이를 일정하게 유지할 수 있다고 가정한다. 따라서 이 시스템은 standing skyline system 분석(정주상, 1993)에서 요구되었던 반송기의 이동경로(elliptical load path)에 대한 계산이 필요없으므로, 각 측정점에서 가선시스템의 기하학적 구조만 알면 그 점에서의 역학적 평형조건에 의해 허용 반송량을 비교적 쉽게 구할 수 있다.

Fig. 3에는 이 시스템을 분석하기 위한 전산모델의 흐름도가 제시되어 있다. 흐름도에 나타난 벌도목의 견인형태(full or partial suspension)는 모델사용자가 정의하는 바에 따라 가선의 길이를 조절하므로써 원하는 작업이 가능하다. 또한 각 측정점에서 가선에 허용되는 최대장력을 기준으로 일차 계산된 허용반송량이 당김줄의 허용강도를 초과하는 경우에는 안전계수 3을 적용한 당김줄의 허용장력이 유지될 수 있도록 벌도목의 하중이 조절된다. 짐매달음줄은 충분한 허용강도의 철선을 사용한다고 가정한다.

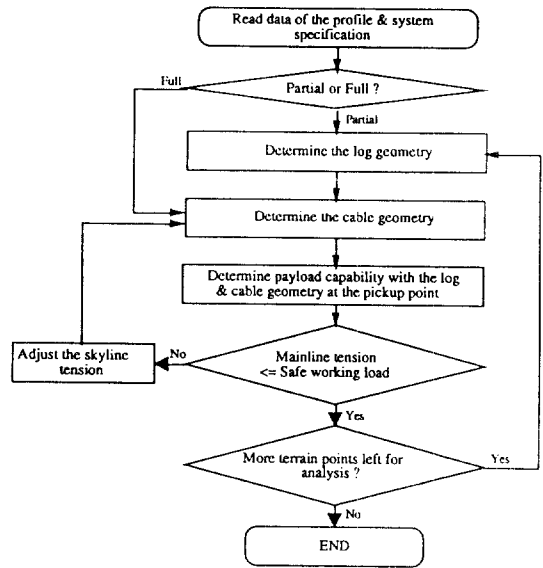


Fig. 3. Flowchart to calculate the allowable payload of the true live skyline.

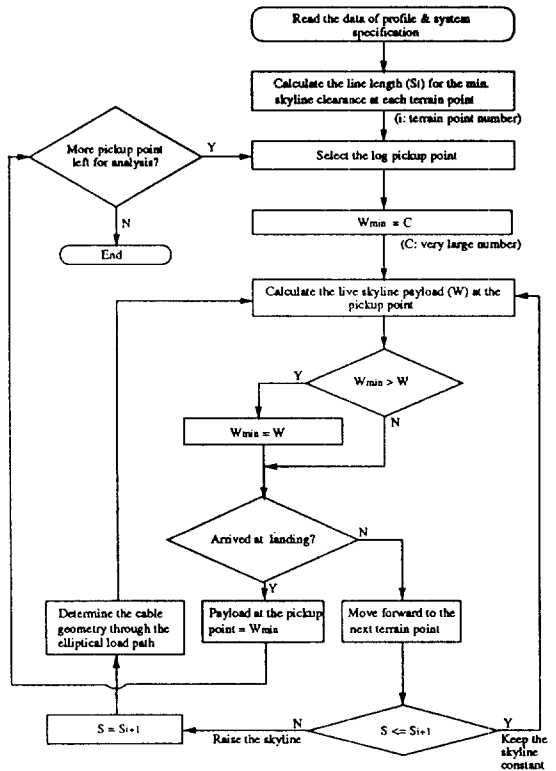


Fig. 4. Flowchart to calculate the allowable payload of the live skyline with lift.

모델 II : 불연속적으로 가선의 길이를 조절하는 경우(Live Skyline with Lift)

현실적으로 지형조건에 맞추어 연속적인 가선 높이의 조절은 어려우므로 가선높이가 최소기준 이하로 내려가는 경우에만 가선의 높이를 조절하게 되므로 집재작업중인 live skyline은 하나 이상의 standing skyline이 연결된 것으로 볼 수 있다. 그러므로 가선의 길이가 고정된 live skyline의 역학분석 과정은 standing skyline의 역학분석 과정과 동일하지만 전체적으로는 몇 개의 연속적인 standing skyline에 대한 분석이 요구되어 다소 복잡해 진다. 즉, 벌도목이 반송로 상의 임의의 한점에서 부터 집재장까지 견인되는 과정에서 가선의 길이가 줄어들면 가선에 가해지는 장력이 늘어나게 되어 상대적으로 허용반송량은 줄어들게 된다. 따라서 벌도목의 견인이 시작되는 점(pickup point)에서 매달 수 있는 허용하중은 반송기가 집재장까지 이동하는 과정의 모든 점(terrain point)에서 허용하중이 계산되어야 하고 그 중 최소하중이 견인 시작점에서의 허용반송량이 된다.

이상의 분석과정에 대한 흐름도가 Fig. 4에 제시되어 있다. 이 흐름도에서 각 측정점에서의 허용반송량을 계산하기 위한 세부 과정은 모델 I의 흐름도(Fig. 3)에 나타나 있으므로 생략하였으며, 오직 full suspension의 경우만 고려하였다. 또한 집재시스템의 허용반송량은 모델 I에서와 같이 가선과 당김줄의 허용장력(안전계수 3)을 고려하여 계산된다.

전산모델의 적용과 해석

입력자료

가선집재시스템 작업의 허용반송량을 계산하기 위해서는 시스템의 제원, 작업내용과 관련된 매개변수들 및 지형조건에 관한 자료들이 요구된다. 이 연구에서는 Table 1에 제시되어 있는 가상적인 자료들을 이용하였다.

Table 1에서 대상지형은 집재기가 위치한 좌측 지주목에서 부터 가선을 따라 7개의 측정점에 대하여 경사거리 및 % 경사가 나타나 있다. 지주목들은 각각 측정점 0과 7에 위치하고 있다. 가선, 당김줄 및 짐매달음줄의 제원에 대한 파괴강도는 안전계수 3을 적용한 값이다. 벌도목의 길이는 평균 6m이고, 견인중인 벌도목은 앞부분이 지면경사로 부터 5° 들어올려지는 것을 가정하였다. 또한 벌도목과 반송기 하단부를 연결해 주는 짐매달음줄의 길이는 4.5m, 벌도목의 지면에 대한 마찰계수는 0.6을 적용하였다.

Live Skyline과 Standing Skyline의 역학적 효율성 비교

위의 입력자료를 정주상(1993)이 발표한 standing skyline 분석모델과 이 논문에서 제시한 live skyline 분석모델 I에 적용한 결과가 Table 2에 나타나 있다. 이 표에 의하면 첫번째 측정점을 제외한 각 점에서의 허용반송량에는 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 즉, standing skyline에서는 가선이 지면에서 떨어진 정도로

Table 1. A hypothetical data set for case studies.

Profile Data					
T.P. No.	Slope Dist. (m)	% Slope	T.P. No.	Slope Dist. (m)	% Slope
0	-	-	4	15	-60
1	20	-40	5	15	-40
2	30	-50	6	20	20
3	20	-70	7	20	30

Wire-Rope Specification				
Types of Wire-rope	Diameter (cm)	Length (m)	Unit Weight (kg/m)	Safe Working Load (kg)
Skyline	1.91	1,000	1.55	7,756
Mainline	1.43	1,000	0.88	4,400
Tagline	1.91	6	1.55	7,756

Average Log Length : 4m	Log Angle to Ground : 5 degrees
Effette Tagl. Length : 4.5m	Ground Friction Coef. : 0.6
Spar Trees : Head : 10m at T.P.0	Carriage : Weight : 300kg
Tail : 10m at T.P.7	Depth : 0.6m

보아 측정점 1이 역학적으로 가장 불리한 점(critical point)으로서 이 지점에서 시스템 운용조건을 만족시키는 가선의 길이가 다른 모든 점에 적용된다. 따라서 이 지점에서의 허용반송량은 live skyline에서와 동일한 방법으로 계산할 수 있으므로 허용반송량의 값이 같아진다. 반면 다른 지점들에서는 live skyline의 허용반송량이 월등히 크므로 live skyline의 경우가 역학적 효율성이 매우 높음을 알 수 있다. 이것은 전술한 바와 같이 유동식 가선집재시스템에서는 가선의 길이를 조절하므로써 역학적으로 유리한 조건을 만들 수 있기 때문이다.

별도목의 견인형태에 따른 Live Skyline System의 역학적 효율성

Table 3에는 모델 I의 적용을 통해 별도목의 견인형태가 허용반송량에 미치는 영향을 비교하였다. 이 표에서 보면 견인중인 별도목이 들어올려짐으로 인해 별도목과 지면의 접촉각이 커질수록 허용반송량은 급속히 감소하는 경향을 보이고 있다. 접촉각이 클 수록 지면과의 마찰이 줄어들어 임지폐손을 줄이는 등의 효과가 있을 것으로 예상되긴하나 가선에 미치는 별도목의 하중이 증대되므로 작업의 효율성은 상대적으로 떨어지게

Table 2. Results of mechanical analysis for live skyline and standing skyline when the logs are dragged with the log-to-ground angle of 5°. (In the standing skyline analysis, the minimum skyline length was found at the terrain point no.1.)

Terrain Point	Payload (kg)	Skyline Clearance (m)	Skyline Tension (kg)	Mainline Tension (kg)
<u>Live Skyline</u>				
1	6,459	4.01	6,154	4,400
2	6,453	3.89	7,756	4,186
3	6,980	3.76	6,859	4,400
4	7,555	3.81	5,750	4,400
5	8,827	4.01	5,098	4,400
6	15,174	5.48	7,756	2,740
<u>Standing Skyline</u>				
1	6,459	4.01	6,154	4,400
2	2,954	7.38	7,756	1,440
3	2,207	13.91	7,756	705
4	2,225	18.25	7,756	630
5	2,388	20.69	7,756	563
6	3,115	13.55	7,756	397

Table 3. The effect of the change in the log-to-ground angle on the allowable payload in kg at each terrain point.

Angle (deg.)	Terrain Points					
	1	2	3	4	5	6
5	6,459	6,453	6,980	7,555	8,827	15,174
25	3,978	3,911	5,336	7,167	9,622	11,993
45	2,131	2,635	3,902	5,381	7,317	9,821
full	1,093	1,924	3,406	4,508	5,491	4,963

된다. 이 연구에서는 시스템의 제원(각 지주목의 높이, 짐올림줄 및 별도목의 길이가 각각 10m, 4.5m, 4m)을 고려하여 full suspension의 경우 각 측정점에서 가선의 높이가 9m로 유지된다고 가정하였다.

모델 II의 적용예

전술한 바와 같이 live skyline을 사용할 때 현실적으로 연속적인 가선 길이의 조절은 어려운 작업이다. 따라서 견인되는 별도목의 들어올려진 정도가 일정한 높이 이상으로만 유지되도록 하는 경우에는 가선의 길이가 충분하지 못한 경우에만 그 길이를 줄이면 된다.

Table 4에는 모델 I의 사례연구에 적용했던 자료들을 그대로 적용하였을 때 나타나는 분석결과를 보여주고 있다. 즉, 별도목을 매다는 각 측정점(pickup point)에서 부터 집재장까지 이동하는 사이에 위치한 각 측정점들에서 별도목의 높이가 충분하지 못할 경우에는 드림을 감아 가선의 길이를 줄임으로써 그 높이를 유지할 수 있다. 전산모델에서 가선 길이 조절의 필요성은 Table 4의 하단에 나타난 가선의 길이(S.L.; 가선의 최소높이를 유지하기 위한 길이)에 의해 판단된다. 예를 들어 측정점 1과 2에서 요구되는 가선의 길이는 각각 132.59m 및 133.53m가 되므로 측정점 2에서 견인되기 시작하는 별도목이 측정점 1을 통과할 때는 가선의 길이를 줄여야 별도목의 높이를 원하는 기준이상으로 유지할 수 있다. 따라서 이 경우에는 1회의 길이 조절이 요구되고, 측정점 6에서 견인이 시작되는 경우에는 3회의 조절이 요구된다.

Table 4에서 밀줄친 하중들은 별도목을 매다는 지점에서의 허용반송량이 된다. 별도목을 매다는 지점에서는 주어진 가선의 높이(9m)를 유지하게 되므로 이 하중들은 Table 3의 하단에 나타난 full suspension의 허용반송량과 동일하

Table 4. Results of mechanical analysis for live skyline for lift when logs are assumed to be fully-suspended. (skyline clearance over ground=9m ; S.L. ; skyline length)

		Terrain Point(T.P.) for log pickup					(Unit : kg)
		1	2	3	4	5	6
Terrain Point on Corridor	1	<u>1,093</u>	1,093	1,093	1,093	1,093	1,093
	2	-	<u>1,924</u>	1,924	1,924	1,924	1,924
	3	-	-	<u>3,406</u>	3,406	3,406	3,406
	4	-	-	-	<u>4,508</u>	4,508	4,508
	5	-	-	-	-	<u>5,491</u>	4,037
	6	-	-	-	-	-	<u>4,963</u>
S.L. (m)		132.59	133.53	135.81	138.12	140.3	136.61
No.of Lift		0	1	2	3	4	3

다.

한편 Table 4에서 밑줄이 없는 하중들은 반송기에 매단 벌도목이 집재장까지 이동하는 중간에 위치한 각 측정점들에서 허용되는 벌도목의 최대 하중을 의미한다. 즉, 이 하중은 벌도목이 각 측정점에 도달하였을 때 가선의 높이가 적어도 9m를 유지할 수 있도록 그 길이를 조절한 후에 허용되는 최대하중이 된다.

이 표에 나타난 분석결과에 의하면 측정점 1에서 허용되는 최대 하중이 가장 작으므로 안전한 작업을 위해서는 각 지점에서 매다는 벌도목의 하중이 측정점 1에서의 허용하중 1,093kg을 초과해서는 안된다. 이것은 각 측정점에서 매단 벌도목들은 반드시 측정점 1을 지나야 하기 때문이다.

결 론

이 연구에서는 급경사지 집재작업을 위한 유동식 가선집재시스템들의 구조적 특성을 고찰하고 분류하였다. 일반적으로 유동식 가선집재방식은 국내임업에서는 거의 사용되지 않고 있으나 고정식 가선집재방식에 비해 역학적 효율성이 우수한 것으로 판단됨은 물론 안정된 작업이 가능하다. 또한 일반적인 집재작업에서 집재지의 지형, 벌도목의 크기, 환경 등과 같은 집재여건을 고려할 때 가선의 높이 혹은 길이를 조절하므로써 적용상의 잇점이 있는 것으로 판단된다.

이러한 가선집재작업의 역학적 분석은 복잡한 계산과정을 요구하므로 수치해석기법을 응용하는 전산모델의 이용이 효율적이다. 이 연구에서는 유동식 가선집재시스템들중 가장 기본적인 형태에 속하는 live skyline의 역학분석을 위한 전산

모델을 개발하고 사례분석에 의해 그 응용성을 검토하였다. 이 모델에 의한 live skyline의 허용 반송능력은 고정식 가선집재방식인 standing skyline에 비해 높은 것으로 나타났고, 또한 live skyline의 작업방식에 따른 두가지 개념의 관계를 허용반송량 추정에 의해 수치상으로 검토하였다.

이 논문에서 제시되는 결과와 컴퓨터 프로그램은 live skyline의 cable 역학분석을 위한 기초자료로의 활용이 기대된다.

인 용 문 헌

1. 정주상. 1993. 가선집재시스템 역학구조 해석에 관한 연구(고정식 가선집재시스템을 중심으로). 한림지 82(1) : 34-43.
2. Carson, W.W. and C.N. Mann. 1970. A technique for the solution of catenary equations. USDA Forest Service Research Paper PNW-110.
3. Chung, J.S. 1987. Development of a cable logging system analysis package for micro-computers. Oregon State University, MF thesis. Corvallis, Oregon.
4. Falk, G.D. 1981. Predicting the payload capability of cable logging systems including the effect of partial suspension. USDA Forest Service Research Paper NE-479.
5. Nickerson, D.B. 1980. Skyline payload analysis using a desktop computer. Division of Timber Management, USDA Forest Service. Portland, Oregon.
6. Studier, D.D. and V.W. Binkley. 1974. Cable logging systems. Division of Timber Management, USDA Forest Service. Portland, Oregon.

부록 I. True Live Skyline

```

10 ***** LIVE SKYLINE *****
20 ***** CATEGORIES *****
80
90 FLAG=1 Define full or partial suspension
100 IF FLAG=0 THEN TAA=77561 T3AA=4400 W1=1.55 W2=.88
    WC=300 CL=9
110 IF FLAG=1 THEN TAA=77561 T3AA=4400 W1=1.55 W2=.88
    WC=300 LOGANG=45 L=4 L2=4.5 CDP=5 W=5
120 PRINT 'INPUT PROFILE DATA FILE'
130 INPUT #1 S(1),A(1)
140 INPUT #3 PRINT
150 OPEN #5 FOR INPUT AS #1
160 INPUT #1,X(D),Y(D)
170 N=0
180 FOR I=1 TO 100
190 INPUT #1 S(I),A(I)
200 A=ATN(A(I)/S(I))
210 X(I)=(X(I-1)+S(I)*COS(A))
220 Y(I)=(Y(I-1)+S(I)*SIN(A))
230 N=N+1
240 IF EOF(1) THEN 260
250 NEXT I
260 CLOSE #1
280 PRINT
290 S(0)=0 A(0)=0
300 PRINT 'TERRAIN X(I) Y(I) S(I) A(I)'
310 FOR I=0 TO 100
320 PRINT USING '*****' I
330 PRINT
340 PRINT USING '*****' A(I)
350 PRINT
360 PRINT USING '*****' Y(I)
370 PRINT
380 PRINT USING '*****' S(I)
390 PRINT
400 PRINT USING '*****' A(I)
410 NEXT I
420 PRINT
430 INPUT 'HEADSPAR HEIGHT TERRAIN POINT: HSI,TP1
440 INPUT 'TAILSPAR HEIGHT TERRAIN POINT: HSI,TP2
450 PRINT
460 IF FLAG=0 THEN 540
470 PRINT 'MAX SKYLINE TENSION TAA
480 PRINT 'MAX MAINLINE TENSION T3AA
490 PRINT 'SKYLINE WEIGHT W1
500 PRINT 'MAINLINE WEIGHT W2
510 PRINT 'LOG ANGLE TO GROUND LOGANG
520 PRINT 'CARRIAGE WEIGHT WC
530 PRINT 'CARRIAGE DEPTH CDP
540
550 IF FLAG=1 THEN 620
560 PRINT 'MAX SKYLINE TENSION TAA
570 PRINT 'MAX MAINLINE TENSION T3AA
580 PRINT 'SKYLINE WEIGHT W1
590 PRINT 'MAINLINE WEIGHT W2
600 PRINT 'CARRIAGE WEIGHT WC
610 PRINT 'SKYLINE CLEARANCE CL
620 PRINT
630
660 IF FLAG=0 THEN PRINT SKYLINE
670 IF FLAG=1 THEN PRINT ' TENSION'
680 PRINT ' MAXIMUM PAYLOAD CARRIAGE CLEARANCE SEG 1
    SEG 2 TERRAIN PAYLOAD SEG 1
710
720 FOR I=1 TO TP2-1
730 TA=TAA T3A=T3AA
740 ITER=0
750 IF FLAG=0 THEN 870
760
770
780 * CALCULATE THETA, ALPHA, HC *
790
800 GOSUB 1700
810
820 * CALCULATE d AND h *
830
840 D1=X(I)-(Y(I)-D2)*S(TP2)-X(I) D3=D1
850 H1=Y(I)-(Y(I)-H1)-H1 HC=D1 H2=Y(TP2)-H1 CL=HC-D1
860
870 D1=X(I)-(Y(I)-D2)*S(TP2)-X(I) D3=D1
880 H1=Y(I)-(Y(I)-H1)-H1 CL=H2-Y(TP2)-H1 CL=H3-H1
890
900 ** SEGMENT NO.1-SKYLINE LEFT **
910
940 TL=TA/D=D1 H=H1 W=W1
950 GOSUB 1500
1040 H1=H*W
1050 TL=SQR(H1^2+V1^2)
1060
980 ** SEGMENT NO.2-SKYLINE RIGHT **
1000
1010 H=ABS(H2)-D=D2 W=W1
1020 IF H2=0 THEN T2=TL+H*W ELSE T2=TL
1030
1040 GOSUB 1500
1050 H2=H*W
1060
1070 ** MAINLINE TENSION **
1080
1090 IF FLAG=1 THEN 1152
1100 D=D3 H=H3 W=W2
1110 H3=H2-H1
1120 W=H3/L
1130 GOSUB 1620
1140 VL=5*W*(H*W+H*W+SS)
1150 TL3=W*(4*W^2/(S^2*H^2)+1)*5*H
1160
1170 R3=W*SQR(H3^2+D3^2)
1180 H1=H1-TAN(ALPHA)*H1-H3-H2-V1-V2-WC
1190 H2=H2-H3-D3-TAN(ALPHA)
1154 H3=H1/H2
1156 VL=TAN(ALPHA)*(H1+H3-H2)-V1-V2-WC
1167 TL3=SQR(H3^2+(V1+R3)^2)
1170
1180 IF ITER=0 THEN 1820
1190 IF TL3>T3A THEN 1820
1200
1210 * CALCULATE W *
1220 W=VL/V2+V1*W
1230 IF FLAG=0 THEN PL=W: GOTO 1330
1240
1250 * CALCULATE PAYLOAD *
1260
1269 P1=COS(THETA)*SIN(THETA)*TAN(BETA)
1270 P2=L/(L2)*W1*W*TAN(BETA)
1280 P3=COS(THETA)*M*(SIN(THETA))
1290 PL=W*(1-P1/P2/P3)
1300
1350 * PRINT OUTPUT *
1360
    
```

```

1350 PRINT USING '*****' I
1360
1370 PRINT USING '*****' PL
1380
1390 IF FLAG=0 THEN PRINT USING '*****' CL
1400 IF FLAG=1 THEN PRINT USING '*****' HC
1410 PRINT
1420 PRINT USING '*****' TA
1430 PRINT
1440 PRINT USING '*****' T2
1450 PRINT USING '*****' T3
1460 NEXT I
1470 END
1480
1490 * SUBROUTINE FOR H AND V
1500
1510 E=D/2 R=W*SQR(D^2+H^2)
1520 M=H*(H/D)*(E/D)+SQR(H*(H/D)*(E/D)^2-(H/D)^2)
1530 P=2*(E/D)*R*(E/D)^2
1540 M=M*(1+(H/D)^2)
1550 IF ABS(TAN(THETA)-BETA)
1560 GOSUB 1620
1570 R=W*SS
1580 WCOMP=M*W: M=W: GOTO 1530
1590 VL=5*W*(H*W+H*W+SS)
1600 RETURN
1610
1620 X=5*W/D
1630 SIN=5*EXP(X)-5*EXP(-X)
1640 COSH=5*EXP(X)+5*EXP(-X)
1650 COTH=COSH/SINH
1660 SS=SQR(D^2+(2*W*SS)^2)
1670 E=D/2-(H/SS)*(M-5*W*COOTH)
1680 RETRN
1690
1700 * SUBROUTINE FOR THETA, ALPHA, HC *
1710
1720 P1=3.14159
1730 BETA=LOGANG/180*PI
1740 THETA=ATN(A1/I)/100
1750 AL=ATAN(THETA+BETA)
1760 A2=COS(THETA)*M*(SIN(THETA))
1770 A3=SIN(THETA)*M*(COS(THETA))
1780 ALPHA=ATN(A2/A3)
1790 HC=(L*SIN(BETA)-L*(SIN(ALPHA-THETA)))/COS(THETA)
1800 RETURN
1810
1820 * SUBROUTINE TO REDUCE EXCESSIVE MAINLINE TENSION *
1830
1840 IF ITER=0 THEN 1880
1850 ITER=ITER+1
1860 TAOLD=TA TL3OLD=TL3
1870 TA=(T3A/TL3)*TA: GOTO 900
1880 IF ABS(TL3-T3A) CL THEN 1200
1890 ALPHA=ATN(A2/A3)
1900 TAOLD=TA TL3OLD=TL3
1910 TA=TAOLD*(TL3OLD-T3A)/W
1920 GOTO 900
1930
1940 * CALCULATE PAYLOAD *
1950
1960 P1=COS(THETA)*SIN(THETA)*TAN(BETA)
1970 P2=L/(L2)*W1*W*TAN(BETA)
1980 P3=COS(THETA)*M*(SIN(THETA))
1990 PL=W*(1-P1/P2/P3)
2000 RETURN
    
```

```

590 IF SLEN(I)>SMIN THEN 610
600 SMIN=SLEN(I)
610 NEXT I
620
630 FOR I=1 TO TP2-1
640 PLAIN=10/10 LIFT(I)=0
650
660 FOR K=1 TO I STEP -1
670
680 ITER=0 TA=TAA
690 IF K=1 THEN SL=SLEN(K) GOTO 720
700 IF SLEN(K)>SL THEN SL=SLEN(K) LIFT(I)-LIFT(I)+1
710
720 ELLIPTICAL LOAD PATH FOR SHORTEST LIVE LENGTH
730
740 * CALCULATE d, h *
750
760 D1=X(I)-(Y(I)-D2)*S(TP2)-X(I) D3=D1
770 D=D1
780 L=Y(TP2)-X(TP1)
790 YH=ABS(Y(TP1)+H1)-(Y(TP2)+H2)
800 C=SL^2/D^2+(L/D)^2-YH^2
810 ROOT=SQR(-4*(D*SL)^2+(SL^2+YH^2)*(C+SL)^2)
820 IF (Y(TP1)+H1)>=(Y(TP2)+H2) THEN DUMMY=-1
    ELSE DUMMY=1
830
840 H=(C*YH-ROOT*D*W)/2/(SL^2-YH^2)
850 H1=H H2=YH-H H3=H1
860
870 ** SEGMENT NO.1-SKYLINE LEFT **
880
890 TL=TA/D=D1 H=H1 W=W1
900 GOSUB 1400
910 H1=H*W VL=V1
920 TL=SQR(H1^2+V1^2)
930
940 ** SEGMENT NO.2-SKYLINE RIGHT **
950
960 IF H2=0 THEN T2=TL+H*W ELSE T2=TL+H1
970 TL=T2
980 H=ABS(H2)-D=D2 W=W1
990 H3=H2-H1
1000 GOSUB 1400
1010 H2=H*W
1020 IF H2=0 THEN V2=VL ELSE V2=VL-R
1030
1040 ** MAINLINE TENSION **
1050
1060 D=D3 H=H3 W=W2
1070 H3=H2-H1
1080 W=H3/L
1091 X=5*W/D
1092 SIN=5*EXP(X)-5*EXP(-X)
1093 COSH=5*EXP(X)+5*EXP(-X)
1094 COTH=COSH/SINH
1095 SS=SQR(D^2+(2*W*SS)^2)
1096 E=D/2-(H/SS)*(M-5*W*COOTH)
1097 VL=5*W*(H*W+H*W+SS)
1100 TL3=W*(4*W^2/(S^2*H^2)+1)*5*H
1110
1120 IF ITER=0 THEN 1660
1130 IF TL3>T3A THEN 1660
1140
1150 * NET PAYLOAD *
1160
1170
1180 PL=SL*(1-V2)/V1*W
1190 IF PL<MIN(PL1,K) THEN PL=MIN(PL1,K)
1200 MANT3(I)=T3
    
```

부록 II. Live Skyline with Lift

```

10 ***** LIVESKYLINE WITH LIFT *****
20 ***** CATEGORIES *****
25
30 * ANALYSIS FOR LIVESKYLINE WITH LIFT (CATEGORY) *
40 DIM X(30) Y(30) PL(30) LIFT(30) S(30) MANT(30)
50 TA=77561 T3A=4400 W1=1.55 W2=.88 CUT=300 CL=8
60 TA=TA T3A=T3A
70
80 PRINT
90 PRINT 'INPUT PROFILE DATA FILE'
100 INPUT #5 PRINT
110 OPEN #5 FOR INPUT AS #1
120 INPUT #1,X(D),Y(D)
130 N=0
140 FOR I=1 TO 100
150 INPUT #1 S(I),A(I)
160 A=ATN(A(I)/S(I))
170 X(I)=(X(I-1)+S(I)*COS(A))
180 Y(I)=(Y(I-1)+S(I)*SIN(A))
190 N=N+1
200 IF EOF(1) THEN 220
210 NEXT I
220 CLOSE #1
230
240 PRINT
250 S(0)=0 A(0)=0
260 PRINT 'TERRAIN X(I) Y(I) S(I) A(I)'
270 FOR I=0 TO 100
280 PRINT USING '*****' I
290 PRINT
300 PRINT USING '*****' A(I)
310 PRINT
320 PRINT USING '*****' Y(I)
330 PRINT
340 PRINT USING '*****' S(I)
350 PRINT
360 PRINT USING '*****' A(I)
370 NEXT I
380 PRINT
390 INPUT 'HEADSPAR HEIGHT TERRAIN POINT: HSI,TP1
400 INPUT 'TAILSPAR HEIGHT TERRAIN POINT: HSI,TP2
410 PRINT
420 PRINT 'MAX SKYLINE TENSION TAA
430 PRINT 'MAX MAINLINE TENSION T3A
440 PRINT 'SKYLINE WEIGHT W1
450 PRINT 'MAINLINE WEIGHT W2
460 PRINT 'MINIMUM SKYLINE CLEARANCE CL
470 PRINT 'CARRIAGE WEIGHT WC
480
490 * CALCULATE SKYLINE LINE LENGTH AT EACH T.P.
500
510 PRINT 'LINE LENGTH FOR MIN CLEARANCE'
520 SMI=10/10
530 FOR I=1 TO TP2-1
540 D1=X(I)-X(TP1)-D2*X(TP2)-X(I)
550 D1=X(I)-X(TP1)+H1-Y(I)-CL-H2-Y(TP2)-H2-Y(I)-CL
560 SLEN(I)=SQR(D1^2+H1^2)+SQR(D2^2+H2^2)
570 PRINT TAB(15);SLEN(I)
580 PRINT USING '*****' SLEN(I)
    
```

```

1210 NEXT I
1220
1230 PRINT
1240 PRINT 'PAYLOAD AT EACH TERRAIN POINT' PRINT
1250 PRINT ' 1 2 3 4 5 6'
1260 PRINT
1270 PRINT
1280 FOR I=1 TO TP2-1
1290 PRINT I
1300 FOR J=1 TO TP2-1
1310 PRINT USING '*****' PL(I,J)
1320 NEXT J
1330 PRINT
1340 NEXT I
1350 PRINT 'NET PAYLOAD FOR EACH TERRAIN POINT OF PICKUP'
1360 PRINT
1370 PRINT ' T.P. PAYLOAD NO. OF LIFTS SEG 1 SEG 3'
1380 PRINT
1390 PRINT
1400 FOR K=1 TO TP2-1
1410 PRINT USING '*****' K MANT(PL(I,K))/MANT3(I)=T3
1420 NEXT K
1430 END
1440 * SUBROUTINE FOR H AND
1450
1460 E=D/2 R=W*SQR(D^2+H^2)
1470 M=H*(H/D)*(E/D)+SQR(H*(H/D)*(E/D)^2-(H/D)^2)
1480 P=2*(E/D)*R*(E/D)^2
1490 M=M*(1+(H/D)^2)
1500 GOSUB 1560
1510 R=W*SS
1520 WCOMP=M*W: M=W: GOTO 1470
1530 VL=5*W*(H*W+H*W+SS)
1540 RETRN
1550
1560 * SUBROUTINE FOR S AND E
1570
1580 X=5*W/D
1590 SIN=5*EXP(X)-5*EXP(-X)
1600 COSH=5*EXP(X)+5*EXP(-X)
1610 COTH=COSH/SINH
1620 SS=SQR(D^2+(2*W*SS)^2)
1630 E=D/2-(H/SS)*(M-5*W*COOTH)
1640 RETURN
1650
1660 * SUBROUTINE TO REDUCE EXCESSIVE MAINLINE TENSION
1670
1680 IF ITER=0 THEN 1720
1690 ITER=ITER+1
1700 TAOLD=TA TL3OLD=TL3
1710 TA=(T3A/TL3)*TA: GOTO 880
1720 IF ABS(TL3-T3A) CL THEN 1160
1730 ALPHA=ATN(A2/A3)
1740 TA=TAOLD*(TL3OLD-T3A)/W
1750 TA=TAOLD*(TL3OLD-T3A)/W
1760 GOTO 880
    
```

```

1290 PRINT I
1300 FOR J=1 TO TP2-1
1310 PRINT USING '*****' PL(I,J)
1320 NEXT J
1330 PRINT
1340 NEXT I
1350 PRINT 'NET PAYLOAD FOR EACH TERRAIN POINT OF PICKUP'
1360 PRINT
1370 PRINT ' T.P. PAYLOAD NO. OF LIFTS SEG 1 SEG 3'
1380 PRINT
1390 PRINT
1400 FOR K=1 TO TP2-1
1410 PRINT USING '*****' K MANT(PL(I,K))/MANT3(I)=T3
1420 NEXT K
1430 END
1440 * SUBROUTINE FOR H AND
1450
1460 E=D/2 R=W*SQR(D^2+H^2)
1470 M=H*(H/D)*(E/D)+SQR(H*(H/D)*(E/D)^2-(H/D)^2)
1480 P=2*(E/D)*R*(E/D)^2
1490 M=M*(1+(H/D)^2)
1500 GOSUB 1560
1510 R=W*SS
1520 WCOMP=M*W: M=W: GOTO 1470
1530 VL=5*W*(H*W+H*W+SS)
1540 RETRN
1550
1560 * SUBROUTINE FOR S AND E
1570
1580 X=5*W/D
1590 SIN=5*EXP(X)-5*EXP(-X)
1600 COSH=5*EXP(X)+5*EXP(-X)
1610 COTH=COSH/SINH
1620 SS=SQR(D^2+(2*W*SS)^2)
1630 E=D/2-(H/SS)*(M-5*W*COOTH)
1640 RETURN
1650
1660 * SUBROUTINE TO REDUCE EXCESSIVE MAINLINE TENSION
1670
1680 IF ITER=0 THEN 1720
1690 ITER=ITER+1
1700 TAOLD=TA TL3OLD=TL3
1710 TA=(T3A/TL3)*TA: GOTO 880
1720 IF ABS(TL3-T3A) CL THEN 1160
1730 ALPHA=ATN(A2/A3)
1740 TA=TAOLD*(TL3OLD-T3A)/W
1750 TA=TAOLD*(TL3OLD-T3A)/W
1760 GOTO 880
    
```