

# LFLP와 DBLP 자연채광시스템의 성능평가 비교 연구<sup>§</sup>

최용전\* · 강은철\*\* · 이의준\*\*†

\* 충남대학교 건축공학과, \*\* 한국에너지기술연구원

## Performance Comparison Study on LFLP and DBLP Daylighting System

Jeon Yong Choi<sup>\*</sup>, Eun Chul Kang<sup>\*\*</sup> and Euy Joon Lee<sup>\*\*†</sup>

<sup>\*</sup> Dept. of Architecture Engineering, Chungnam Nat'l Univ.,

<sup>\*\*</sup> Korea Institute of Energy Research

(Received December 14, 2010 ; Revised May 7, 2011 ; Accepted May 26, 2011)

**Key Words:** Double Blind(이중블라인드), Light Collector(집광부), Light Transformer(변광부), Light Pipe(광파이프)

**초록:** 본 논문에서는 자연채광 시스템 LFLP(Linear Fresnel Light Pipe)와 DBLP(Double Blind Light Pipe)시스템을 비교하였다. LFLP시스템은 평행한 빛을 선형프레넬렌즈를 이용하여 선형 형태로 빛으로 집광하여 자연채광에 이용하는 시스템이며, DBLP시스템은 베네시안 형태의 블라인드를 이용하여 빛을 반사시켜 자연채광에 이용하는 시스템이다. DBLP시스템은 LFLP시스템을 개선한 것으로 시스템 앞쪽에 위치한 블라인드는 태양의 고도에 따른 빛을, 뒤쪽에 위치한 블라인드는 태양의 방위각에 따른 빛을 변광부로 반사시키도록 설계 되었다. DBLP시스템의 변광부는 콘모양으로 이루어져 있으며 블라인드에 의해 반사된 빛을 산광부로 보내주는 역할을 하며, 산광부로 들어온 빛은 실내조명에 사용된다. 따라서 맑은날(clear sky)을 기준으로 두 시스템의 효율을 비교하면 DBLP시스템이 LFLP시스템보다 세배 높게 나오는 것으로 나타났다.

**Abstract:** The LFLP (Linear Fresnel Light Pipe) system uses a linear Fresnel lens to follow the sun and concentrates the parallel sunlight into a line. A LFLP daylighting system has been developed and updated to a DBLP (Double Blind Light Pipe) daylighting system to improve the overall system efficiency in the morning and afternoon. The new design consists of a double-blind style with a cone-shaped light transformer. The blinds are used to collect the sun's altitude and azimuth movements through the day. Behind the two sets of blinds is the light transformer, which is based on a parabolic-shaped light concentrator. The light transformer is designed to efficiently deliver light within a thirty-degree radial spread so that the light pipe can internally reflect the light. The results of scale-model tests are encouraging, and the efficiency is three times higher than that of the previous LFLP system.

### - 기호설명 -

$\eta$  : 블라인드 시스템 효율 [%]  
 $\phi$  : 광속 [lm]  
A : 각도 [°]  
W : 크기 [cm]  
S : 블라인드 간의 간격 [cm]

t : 시스템 전체  
i : 태양 빛의 입사  
I : 시스템 입구  
O : 시스템 출구  
L : 블라인드 날개

### 하첨자

C : 집광부  
T : 변광부  
P : 산광부

### 1. 서론

태양광은 인간이 살아가는데 없어서는 안되는 필수요소이다. 태양광은 예로부터 건축물에서 공간을 표현하고 인식하기 위해 반드시 고려해야 하는 건축요소 중의 하나였으며, 현대에서도 에너지 절약뿐만 아니라 환경 친화적인 측면에서 인공조명과는 비교할 수 없는 효과적인 에너지원

§ 이 논문은 대한기계학회 2010년도 추계학술대회 (2010. 11. 3.-5., ICC제주) 발표논문임

† Corresponding Author, ejlee@kier.re.kr

© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

으로서 관심이 증가하고 있다. 그리고 건축물 내에서 쾌적한 빛 환경 및 작업능률 향상의 좋은 환경을 제공하고, 다양한 스펙트럼의 빛이 재실자의 신체적·정신적 건강에 유익을 제공하므로 주광을 건축물에 도입하려는 시도는 계속되어지고 있지만, 기존의 자연채광 기술은 공간을 많이 필요로 하였으며, 비용이 많이 들고, 제어가 어려워 효율이 낮다는 문제점을 가지고 있다.

이에 본 논문에서는 효율적으로 태양빛을 집광하기 위하여 선형 프레넬렌즈를 사용한 LFLP 시스템<sup>(1,2)</sup>과 이중블라인드를 사용한 DBLP 시스템<sup>(3)</sup>을 소개하고 효율을 비교하고자 한다.

## 2. LFLP와 DBLP 시스템

### 2.1 LFLP 시스템

#### 2.1.1 LFLP 집광부

태양으로부터 내리 쬐는 광선은 지구에 평행하게 도달한다. 이러한 평행한 빛은 렌즈를 사용하여 한 점에 모을 수 있다. 이러한 렌즈를 길이 방향으로 확장시키면 초점은 선의 형태로 나타난다. 이렇게 여러 개의 렌즈를 연결하여 하나의 필름으로 제작한 것을 선형프레넬렌즈(Linear

Fresnel Lens)라 한다. 선형프레넬렌즈의 초점 위치는 렌즈의 두께에 따라 변하는 특징을 가지고 있다.

본 실험에 사용된 선형프레넬렌즈는 아크릴과 폴리탄산에스테르 소재를 사용하여 제작되어 무게가 가볍고 잘 구부러지는 특징을 가지고 있다. 그리고 Fig. 1에서 보는바와 같이 서로 다른 2개의 필름으로 구성되어 있는데, 위쪽에 있는 필름은 평평한 필름으로 빛을 1차 굴절시킨다. 아래쪽의 필름은 중앙부분에서 바깥 부분으로 나가면서 다양한 두께의 렌즈로 구성된다. 따라서 집광장치를 둥근형태로 구성하여 수직으로 도달하는 빛을 하나의 초점 상에 모을 수 있도록 설계하였다. Table 1에서 보는바와 같이 본 시스템의 집광부 크기는 가로 1.0m, 세로 1.5m이며, 초점거리는 0.67m이다. 선형 프레넬렌즈는 빛의 입사각에 따라 초점의 위치도 바뀌게 되므로 초점을 일정하게 유지하기 위해서는 입사각이 일정하게 유지되도록 해야 한다. 따라서 집광부는 태양 고도에 따른 상하이동 추적을 선택하였다. 추적 방법은 Fig. 2에서 보는 것과 같이 변광장치 입구부 상·하에 2개의 조도측정센서를 설치하여 조도를 실시간으로 읽어들이어 조도차가 발생하면 집광부가 오전에는 위쪽으로, 오후에는 아래쪽으로 조도값이 같을 때까지 움직이게 된다. 그리고 집광부 좌우측면에는 고효율 반사필름을 설치하여 측면으로 빠져나가는 빛을 변광부 입구부로 반사시키도록 하였다.

Table 1 Specification of LFLP

	Width [m]	Height [m]	Focal distance [m]
Collector size	1.00	1.50	0.67

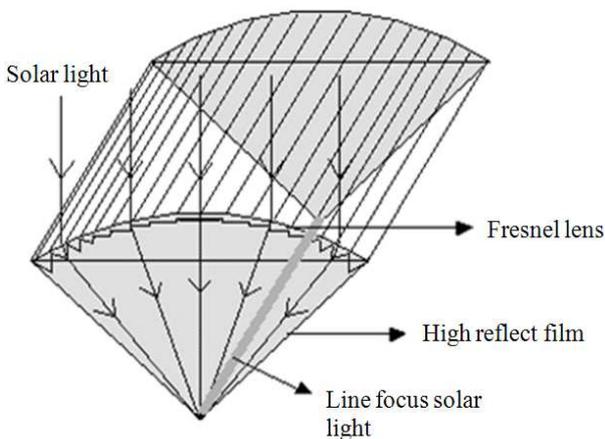


Fig. 1 Linear fresnel lens collector

#### 2.1.2 LFLP 변광부

변광부는 집광부가 한곳에 모은 선형의 빛을 산광부로 입사각을 조절하여 보내주는 역할을 한다. 따라서 태양을 상하로 추적하는 집광부와는 분리되어 설치되었다. 하지만 산광부와는 일체형을 이루는 것이 빛을 전송하는데 유리하여 일체형으로 조립이 가능하게 제작되었으며 Fig. 2와 같다. 변광부에서 빛이 유입되는 입구부의 크기는 2cm로 설계되어졌으며, 그 공간에 70°와 90°의 Prismatic Film을 연결하여 집광된 빛을 변광부 안으로 투과시킨다. 90°필름은 오전 9~11시, 오후 1~3시 사이에 사용하고, 70°필름은 오전 11시~오후 1시 사이에 사용하여 시스템 효율을 증가시키도록 하였다. 이 필름을 거치면서 빛은 굴절되어 변광부 안으로 들어가게 된다. 변광부 안쪽에는

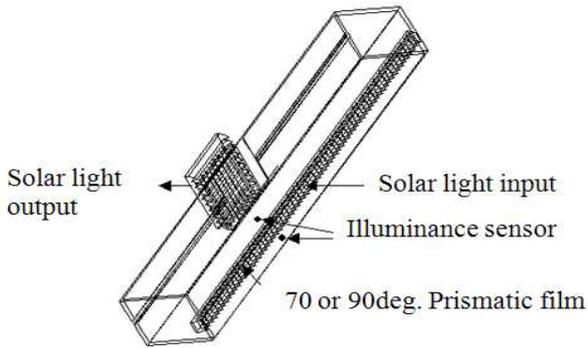


Fig. 2 LFLP system light transformer

전반사 필름이 부착되어 있어 변광부 안쪽으로 들어온 빛은 산광부 입구쪽으로 전반사 이동을 하여 출구 쪽으로 빠져나가게 된다.

2.2 DBLP 시스템

2.2.1 DBLP 집광부

집광부에 속하는 블라인드 시스템은 빛을 평행한 상태로 변광부로 반사시켜 보내준다. 시스템 전반부에 위치한 수평 블라인드는 태양고도를 추적하고, 뒤쪽에 위치한 수직 블라인드는 방위각을 추적하는 기능을 한다. 이처럼 블라인드에 의해 반사되어 변광부로 들어온 빛은 동일한 입사각을 가지게 되며, 이때 블라인드와 블라인드 사이의 간격에 따라 효율이 달라지기 때문에 블라인드간의 일정한 간격을 유지하여 결합하는 것이 중요하다. 각각의 블라인드 폭은 블라인드 간격에 의해 결정되며, 이는 다음 식으로 계산되어진다.

$$S = \sin(A_i/2) \times W_L \tag{1}$$

식 (1)은 블라인드로 투과된 빛은 언제나 평행하며, 변광부의 입구구경에 법선면으로 평행하게 투과된다는 가정하에 유도되었다. Fig. 3은 블라인드 간격을 계산하는 식이 유도되는 것을 설명한다. 방위각 조정 블라인드는 남쪽을 0°로 가정하고 동쪽으로 45°, 서쪽으로 45°사이에서 조정된다. 따라서 방위각 블라인드의 간격과 폭은 0° ~ 45° 각을 기준으로 Table 2에서 보는바와 같이 가로 60cm, 세로 7cm, 블라인드간의 간격은 1.5cm로 계산되어 총 22개의 블라인드로 이루어졌으며, Fig. 4와 같다. 고도 조정 블라인드는 집광의 효율을 높이기 위해 자체적으로 55°의 기울기를

Table 2 Specification of DBLP

	Width [cm]	Height [cm]	Blinds distance [cm]	Number of blinds
Azimuth blinds	36	7	1.5	22
Altitude blinds	60	12	1.2	25

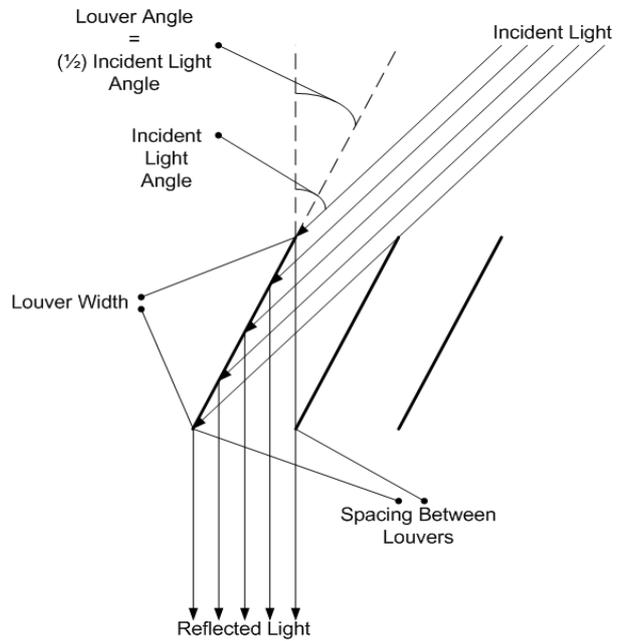


Fig. 3 The method of calculation for blind distance



Fig. 4 Azimuth collector blinds

가지고 있다. 그래서 태양의 고도에 따라 블라인드가 변화하는 각은 상하 30°사이에서 조정된다. 따라서 고도각 블라인드의 간격과 폭은 0° ~ 30°



Fig. 5 Altitude collector blinds

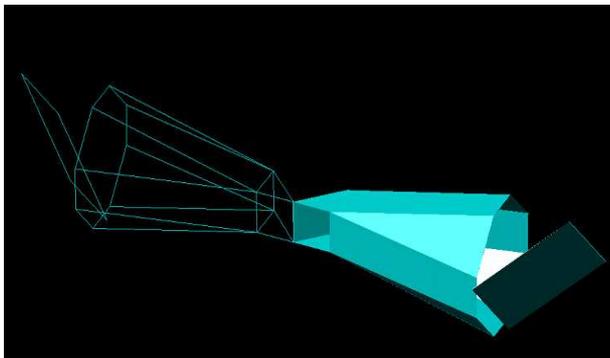


Fig. 6 DBLP system light transformer

각을 기준으로 Table 2에서 보는 바와 같이 세로 12cm, 가로 60cm, 블라인드간의 간격은 1.5cm로 계산되어 총 25개의 블라인드로 이루어졌으며, Fig. 5와 같다.

2.2.2 DBLP 변광부

DBLP시스템의 변광부는 원형형태로 조립이 가능한 8각뿔 형태로 설계되었다. 이는 공간효율성을 높이기 위한 형태로, 배광부로 빛을 전달하는 두 개의 변광부는 실험용 건물의 폭에 의해서 각각 1.5m 길이로 제작되었으며, Fig. 6과 같다. 변광부 하나를 설치할 수 있는 공간은 약 75cm 정도로, 변광부의 입구부 면적과 8각뿔을 이루는 시준각(collimating angle)을 고려하여 설계되었다. 입구부 면적이 작으면, 시스템으로 들어오는 태양빛의 양이 적어 실내조명에 필요한 만큼의 조도를 유지할 수 없다. 또한 8각뿔을 이루는 각이 급격해지면 변광부 내부에서 빛의 입사각 대비 반사각이 커져 밖으로 반사되어 나오는 현상이 발생할

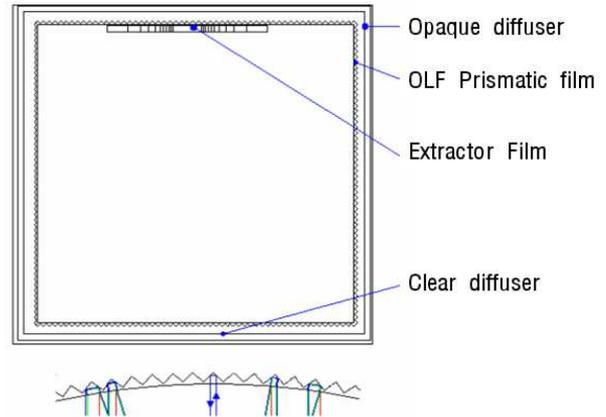


Fig. 7 Light pipe section

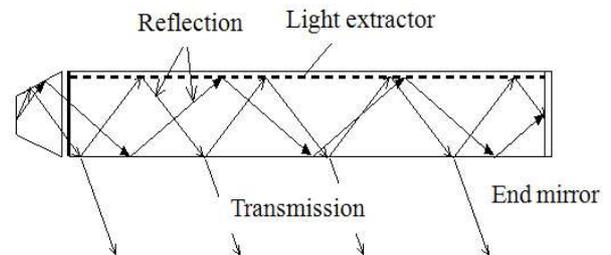


Fig. 8 Light pipe

뿐만 아니라 배광부로 전해지는 빛의 양도 줄어들 것이다. 따라서 태양집광 효율을 최대로 하기 위해서 변광부의 시준각을 12.53°로 정하여 제작하였다. 각각의 변광부 출구는 10cm×10cm로 설계하여 두 개의 변광부를 합치면 10cm×20cm가 된다. 변광부 입구부에는 길이가 20cm인 정사각형반사거울이 변광부와 45°각을 이루어 장착되어 있다. 또한 입구부의 8각뿔 직경은 28.28cm로 제작하였다. 변광부는 알루미늄으로 제작되었으며, 반사거울과 8각뿔의 내부벽은 전반사 필름으로 코팅처리 하였다.

2.3 LFLP & DBLP 산광부

변광부를 통해 나온 빛은 산광부인 광파이프를 따라 실내로 유입된다. 산광부 내부에는 빛의 흡수량이 작고 반사율이 뛰어나 광전송에 유용한 프리즘 구조로 된 OLF(Optical Lighting Film)가 부착되어있다. OLF는 Fig. 7과 같이 미세프리즘이 연속적으로 배열된 필름으로서 빛의 입사각에 따라 투명한 창이 되기도 하고, 거울이 되기도 하는 특성을 지니고 있다. 이때 반사가 되는 빛의 입사각은 27.6°이내 이고, 반사율은 98%로 빛

이 효율적으로 이동할 수 있다.

변광부를 통해 산광부로 유입된 빛은 투명한 상태인 파이프 하부에서 실내로 확산되고, 상단에 부착된 익스트랙터 필름에 의해서 광 파이프 안쪽으로 전송 또는 산란된다. 이는 굴절의 법칙 (Snell's law)에 따라 파이프에 도달하는 빛의 입사각이 임계각 이내가 되면 빛은 전반사를 하게 되고, 입사각이 임계각보다 크게 되면 산광부 외부로 투과가 나타나게 되는 것이다. 이때 산광부의 하부를 통해 실내로 확산되는 빛이 실내조명으로 사용되며, Fig. 8과 같다.

산광부의 경우는 LFLP시스템과 DBLP시스템 모두 동일하게 사용하여 효율을 측정하는데 있어서의 오차를 줄였다.

### 3. 시스템 효율 측정

#### 3.1 광속법

태양광을 이용한 자연채광 시스템의 광전송 성능은 집광부( $\eta_c$ ), 변광부( $\eta_t$ ), 산광부( $\eta_p$ )에서 각각의 효율을 구함으로써 얻어질 수 있으며 식 (2), (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta_t = \eta_c \times \eta_t \times \eta_p \quad (2)$$

$$\eta_t = \left(\frac{\Phi_o}{\Phi_i}\right)_C \times \left(\frac{\Phi_o}{\Phi_i}\right)_T \times \left(\frac{\Phi_o}{\Phi_i}\right)_P \quad (3)$$

식 (2)와 (3)에서  $(\Phi_i)_c$  는 태양에서 집광부로 도달하는 전체광속(Total Luminous)을 나타내고 있다. 집광부에서 나가는 광속은 변광부로 들어가는 광속과 같은 값이고, 변광부에서 나오는 광속은 산광부로 들어가는 광속과 같은 값이다. 따라서 본 시스템의 전체 효율 관계식은 집광부에 도달한 광속 $(\Phi_i)_c$  중 산광부를 통해 실내로 유입되는 광속 $(\Phi_o)_P$  의 비로 구할 수 있으며, 식 (4)와 같다.

$$\eta = \frac{(\Phi_o)_P}{(\Phi_i)_C} \quad (4)$$

#### 3.2 LFLP와 DBLP 시스템 비교

기상상태는 맑은날(clear sky), 흐린날(obsured) 등 여러 가지로 분류되지만 태양집광 시스템은 맑은 날에 적합하도록 설계하였기 때문에 7월

Table 3 Comparison of system efficiency with time

Time Type	9:30	11:00	12:30	14:00	15:30
LFLP( $\eta$ )	2.7	4.5	4.1	3.9	2.5
DBLP( $\eta$ )	5.4	10.7	13.2	10.4	4.6

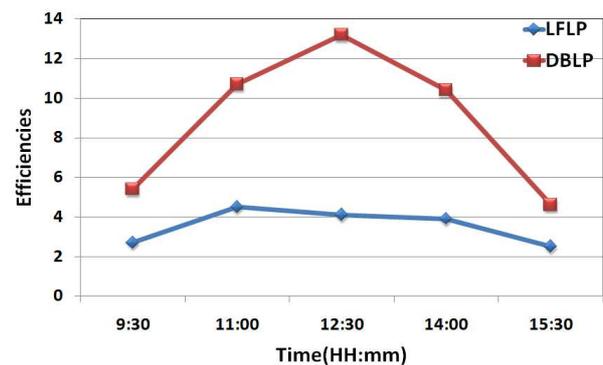


Fig. 9 Efficiency( $\eta$ )

중 맑을 날을 기준으로 효율을 도출하였다. 측정은 1시간 30분마다 하였고, 맑은날 정오시간 때 조도는 148,000lux까지 측정되었다. 결과는 Table 3에서 보는 바와 같이 나타났으며, DBLP 시스템이 정오에 LFLP시스템보다 효율이 3배 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. DBLP시스템의 효율은 Fig. 9에서 보는 바와 같이 5%에서 13% 사이를 유지한 반면, LFLP시스템은 2%에서 4%의 시스템 효율을 유지하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 효율적으로 태양빛을 집광하기 위하여 선형 프레넬렌즈를 사용한 LFLP시스템과 이중블라인드를 사용한 DBLP시스템을 소개하고 효율을 비교하였다. 결론은 다음과 같다.

DBLP 시스템의 효율은 정오시간에 LFLP시스템보다 3배 높게 나왔으며, 오전과 오후시간 때에는 효율이 2배 높게 나왔다. 이처럼 효율이 차이가 나는 이유는 집광부에서 찾아 볼 수 있다. LFLP시스템은 선형 프레넬렌즈를 사용하여 집광을 하는데, 선형 프레넬렌즈는 태양의 입사각에 따라 초점의 위치에 영향을 많이 받는다. 따라서 태양이 계속 이동함에 따라 정확하게 변광부로 빛을 모아주지 못하기 때문이라고 사료된다. 하

지만 DBLP시스템은 이중블라인드를 사용함으로써 선형 프레넬렌즈보다 간단하게 태양빛을 변광부로 보내주기 때문에 LFLP시스템보다 효율이 높게 나오는 것으로 사료된다.

차후 DBLP시스템의 집광부와 변광부, 변광부와 산광부 접합면에서 접합각도와 설비적인 오차로 인해 일어나는 손실을 줄이기 위해 통합적인 설계가 이루어질 계획이다. 이렇게 제작된 시스템은 집광부의 광속 대비 산광부의 광속 비로 측정하는 루멘법과 외부 수평면 조도(lux) 분포 대비 실내 작업면 높이에서의 조도 분포 비로 측정하는 주광율을 이용하여 시스템 성능을 측정하여 건물 적용에 대한 추가 연구를 수행할 예정이다.

#### 후 기

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(과제번호 : 2009T100100950)

#### 참고문헌

- (1) Lee, E. J., 2002, "Fresnel Collector and Prismatic Pipe Daylighting System for Advanced Building," *KOSEE*, No. 3, pp. 5~41.
- (2) Lee, E. J., 2008, "Concentrating Light Pipe Daylighting System," *KSES*, Vol. 7, pp. 14~19.
- (3) Alvin, W., Kang, E. C. and LEE, E. J., 2004, "Development of New Solar Collection System for Light Pipe Technology," *KSES*, pp. 117~121.
- (4) Rosemann, A., Mossman, M. and Whithead, L., 2008, "Development of a Cost-Effective Solar Illumination System to Bring Natural Light into the Building Core," *Solar Energy*, Vol. 82, pp. 302~301.
- (5) Lee, Jung-Eun, Choi, An-seop, 2005, "A Study of Luminous Environment for Standard Illuminance in Residential Areas," *KIIE*, Vol. 19, pp. 1~9.
- (6) Lambda Research Corporation : Trace-Pro User's Manual, 2000.