

본 연구는 ERC/NSDM(정밀정형 및 금형가공연구소)의 연구비로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

## 쾌속조형과 스크린 인쇄기술을 이용한 빌드업인쇄회로기판의 제조공정기술개발

조병희\*, 정해도\*\*, 정해원\*\*\*

### Development of Build-up Printed Circuit Board Manufacturing Process Using Rapid Prototyping Technology and Screen Printing Technology

Byung Hee Cho\*, Hae Do Jeong\*\*, and Hae Won Jeong\*\*\*

#### ABSTRACT

Generally, the build-up printed circuit board manufactured by the sequential process with etching, plating, drilling etc. requires many types of equipments and lead time. Etching process is suitable for mass production, however, it is not adequate for manufacturing prototype in the developing stage. In this study, we introduce a screen printing technology to prototyping a build-up printed circuit board. As for the material, photo/thermal curable resin and conductive paste are used for the formation of dielectric and conductor. The build-up structure is made by subsequent processes such as the formation of liquid resin thin layer, the solidification by UV/IR light, and via filling with conductive paste. By use of photo curable resin, productivity is greatly enhanced compared with thermal curable resin. Finally, the basic concept and the possibility of build-up printed circuit board prototyping are proposed in comparison with to the conventional process.

**Key Words** : build-up printed circuit board(빌드업인쇄회로기판), screen printing technology(스크린 인쇄 기술), photo curable resin(광경화성 수지), conductive paste(도전성 페이스트)

#### 1. 서론

인쇄회로기판(Printed Circuit Board)은 여러 가지 전자 소자들을 실장시켜 이들의 전기적 연결을 담당하는 전자산업의 기초가 되는 부품이다. 이전의 비교적 간단한 전자 제품의 경우 단면인쇄회로기판(Single-side Printed Circuit Board)이나 양면인쇄회로기판(Double-side Printed Circuit Board)으로도 적용이 가능하였으나, 최근 전자제품이 점점 소형화, 박

형화되어 인쇄회로기판 역시 다층화, 소형화, 박형화가 진행되고 있다<sup>1)</sup>. 특히, 통신기기용 빌드업인쇄회로기판(Build-up printed circuit board)을 중심으로 한 다층화는 통신기기의 소형화에 가장 핵심을 이루고 있다. 하지만, 종래의 빌드업인쇄회로기판 제조공정의 경우 부식(Etching), 도금(Plating)등의 습식 공정(Wet process)에 의해 공정이 진행되므로 환경문제를 수반하고, 또한 제조공정이 코어(Core : Prepreg를 두께별로 적층하여 상하에 Copper와 함께 Press한 것)를 기본으로 하여 다층화가 진행되

\* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

\*\* 부산대학교 기계공학부

\*\*\* 미소전자

로 층간의 전기적 연결을 위한 비아(Via)를 형성시킬 때 레이저드릴(Laser drill)등 고가의 장비를 도입해야만 빌드업인쇄회로기판의 제조가 가능하게 된다<sup>2)</sup>. 현재 빌드업인쇄회로기판을 제조하는 방법은 층간의 전기 연결체인 비아(Via)를 형성하는 공정에 따라 포토 비아(Photo via), 레이저 비아(Laser via), 플라즈마 비아(Plasma via)로 크게 구분된다. 현재 레이저 비아가 가장 많이 사용되고 있으며, Fig. 1 에 레이저 비아중 가장 많이 사용되는 RCC(Resin Coated Copper foil)제조공정을 나타내었다.

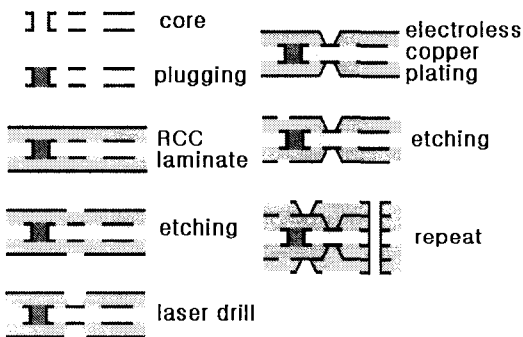


Fig. 1 RCC Process

기존의 공정들은 Fig. 1에서와 같이 코어를 중심으로 하여 양면으로 층을 적층시켜 빌드업인쇄회로기판을 제조하게 된다. 따라서 코어의 위, 아래로 각각 형성된 층의 전기적 연결이 필요할 경우 코어를 관통시켜야만 한다. 코어를 관통시킬 경우 일정한 제약이 따르게 되므로 배선의 배치에도 제약이 따르게 된다. 본 연구에서는 이러한 습식공정과 코어가 필요하지 않은 건식 공정(Dry process)으로 빌드업인쇄회로기판을 제조할 수 있는 공정을 개발하였다. 이를 위해서 기존의 인쇄회로기판 제조공정 중에서 인쇄회로기판에 부품의 실장위치를 표시하는 마킹(Marking)공정, 외층(Outer layer)의 전기적 보호를 위해 솔더 레지스터(Solder resister)를 코팅(Coating)하는 공정에서 사용되는 스크린인쇄 기술(Screen printing technology)을 도입하였다. 또한 기존의 절연층(Dielectric layer)으로 사용되던 열경화성수지(Thermal curable resin)의 단점인 긴 경화 시간을 단축하기 위해 쾌속경화기술에서 사용되는 많이 적용되는 광경화성수지(Photo curable resin)를

이용한 SGC(Solid Ground Curing)공정을 도입하여 전체적인 제조시간을 단축하는 연구를 수행하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 스크린인쇄

스크린인쇄는 일정한 메시(Mesh)를 가지는 스크린을 일정한 인장력(Tension)으로 틀에 고정시키고, 스크린 위에 원하는 형상의 단면을 형성한후에 인쇄 재료를 스퀴지(Squeeze)를 이용하여 일정한 압력으로 밀면서 원하는 형상의 단면을 얻는 인쇄 방법이다. 블록인쇄, 오목인쇄와 달리 특수인쇄로 분류되어 있는 방법으로써, 다품종 소량생산에 적용되고 있으며, 그 적용 범위 또한 미술, 포장용기, 전자등 많은 분야에 적용되고 있다.

스크린이란 실크, 합성섬유 등을 이용하여 날실과 씨실의 교차에 의해 메시를 형성시켜 인쇄재료가 빠져나갈 수 있는 공간을 만들어 놓은 것이다. 스크린의 분류를 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Classification of screen

Material	Silk, Nylon, Polyester, Stainless steel, Metal
Thread	Mono filament type, Multi filament type, Mixed type
Number of mesh	Low, Medium, High

인쇄조건, 인쇄목적에 따라 Table 1 에 분류된 스크린중 하나를 선택하여 사용한다. 최근 정밀도가 요구되는 분야에서는 합성섬유보다 더욱 신축성이 적은 것이 필요하게 돼 폴리에스테르 스크린에 도금가공한 것, 스테인리스 직물, 금속판등이 사용되고 있다.

스퀴지는 인쇄작업시 인쇄재료를 피인쇄체에 전이하는 역할을 한다. 스퀴지의 재료는 주로 Hs 50~90정도의 경도를 가지는 폴리우레탄이 가장 많이 사용되고 있다<sup>3)</sup>. 일부 금속스크린을 이용하는 경우 금속제의 스퀴지도 사용되고 있다. 인쇄작업시 스퀴지와 인쇄면이 이루는 각도, 스퀴지에 가해지는 압력에 의해 인쇄재료의 전이량이 결정된다. 따라서, 스퀴지의 각도와 압력은 인쇄작업에서

중요한 요소가 된다. 본 연구에서는 폴리에스테르 재질의 스크린과 Hs 62의 경도를 가지는 폴리우레탄 재질의 스키지를 사용하였다.

### 2.2 실험재료

본 연구에서는 제조된 모델의 동일한 단면에 두 가지 서로 다른 성질을 부가하기 위하여 도전성 재료와 절연성 재료를 사용하였다. 절연성 재료로는 패속조형기술에서 많이 쓰이고 있는 광경화성수지를 사용하였으며 도전성 재료로는 도전성 페이스트를 사용하였다. 도전성 페이스트의 경우 상용으로 시판되는 두 가지 페이스트를 사용하여 실험하였다.

### 2.3 제조공정

빌드업인쇄회로기판을 제조하기 위해 본 연구에서는 스크린인쇄기술과 패속조형기술을 응용하였다. 스크린인쇄기술은 절연부와 배선부를 형성하는데 사용하였으며, 패속조형기술은 절연부의 경화시 자외선을 사용하여 경화시간을 단축하는데 사용하였다. 배선부의 경우 현재 상용화된 도전성 페이스트가 열경화성이므로 열풍건조기에서 경화하였다. 제조공정을 Fig. 2에 나타내었다.

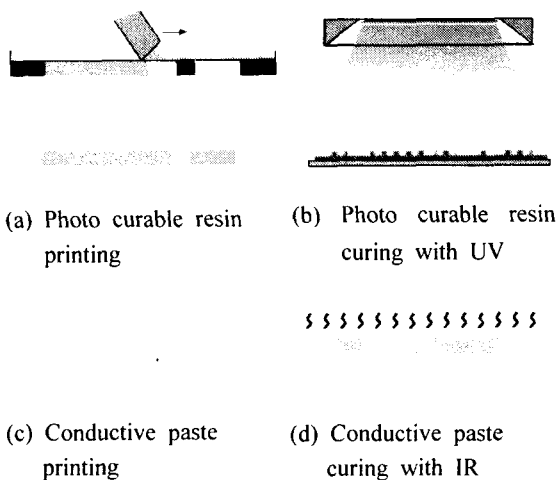


Fig. 2 Manufacturing process

### 2.4 실험 장치

광경화성수지를 경화시키기 위해 사용한 자외선 램프의 사진을 Fig. 3에 나타내었다. 인쇄를 위한 인쇄기의 경우 수동 인쇄기를 사용하였다. 따

라서, 실험조건의 경우 인쇄압력, 스키지 각도보다는 스크린 메시수와 점도에 따라 설정하였다. Fig. 4에 수동 인쇄기의 사진을 나타내었다. 또한 실험에 사용한 자외선 램프의 주요 사양을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Specification of UV lamp

Wave length(nm)	Power (kW)	Energy (mW/cm <sup>2</sup> )
325	Max. 2 (Variable)	30



Fig. 3 Photograph of UV lamp

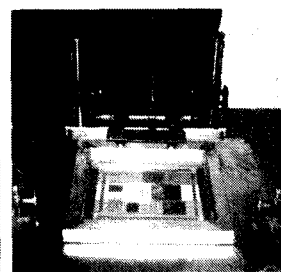


Fig. 4 Photograph of manual printer

스크린의 메시수에 따른 인쇄의 해상도를 평가하기 위해 300메시, 350메시, 420메시 세 가지의 스크린을 사용하여 각각의 재료에 대하여 해상도를 평가하였다.

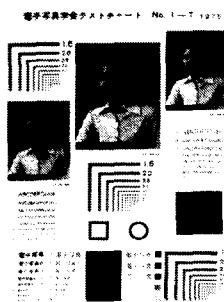


Fig. 5 Test chart No.1-T

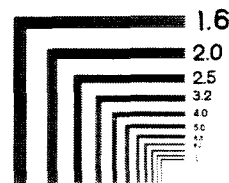


Fig. 6 Resolution chart

해상도를 평가하기 위해 일본전자사진학회에서 제안한 테스트 차트(Test chart No.1-T)를 사용하였다. Fig. 5에 테스트 차트의 전체 사진을 나타내었

고, Fig. 6에 인쇄의 해상도 평가용 차트를 나타내었다. 해상도 평가용 차트의 숫자는 mm당 라인수를 뜻하며  $2^{1/3}$ 씩 증가한다. 이와 같은 결과를 바탕으로 하여 실제 빌드업인쇄회로기판을 제조하였다.

### 3. 실험결과

#### 3.1 광경화성수지

스크린인쇄에 적당한 점도와 요변성(Thixotropy)을 가지게 하기 위하여 기존의 광경화성수지보다 높은 점도의 광경화성수지에 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ ) 함유량을 변화시켜 실험하였다. 탄산칼슘함량에 따른 점도변화를 Fig. 7에 나타내었다. 인쇄시험결과, 탄산칼슘함량이 20%인 경우 변질 없이 인쇄가 가능하였으며 그때의 점도는  $2.8\text{Pa}\cdot\text{s}$ 이었다. 탄산칼슘을 첨가하지 않은 경우의 점도가 탄산칼슘 함량이 10%인 경우보다 높은 점도를 나타내었는데 이는 요변성에 의한 결과라고 생각되어진다.

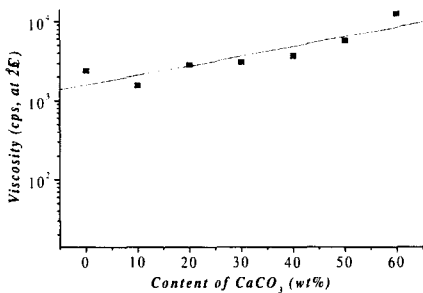


Fig. 7 Viscosity graph

점도 측정에 사용한 점도계와 측정 조건을 각각 Fig. 8과 Table 3에 나타내었다.

입자가 비뉴턴유체에 분산되어 있을 때, 외부에서 기계적인 힘을 가하면 유동성이 좋아지고, 외부에서 힘을 가하지 않으면 유동성이 나빠지는데 이러한 현상을 요변성이라고 한다<sup>4)</sup>. 이러한 현상은 온도의 변화에 의한 유동성의 변화와는 구별되어야 한다. 온도의 변화에 의한 유동성의 변화는 유체 점도 자체의 변화에 의한 결과이기 때문이다. 스크린인쇄기술에서 이러한 요변성이 필요한 이유는 인쇄 재료를 스퀴지로 인쇄할 때에는 유동성을 가져야만 스크린을 통과하여 인쇄가 되고 인쇄한 후에는 유동성이 나빠져서 고체와 유사한 성질을 가져야만 퍼지지 않고 형상을 유지할 수 있기

때문이다.



Fig. 8 Brookfield viscometer DV II+

Table 3 Measuring condition of viscosity

rpm	Spindle No.	Temperature(°C)
5	5	25

이러한 현상을 콜로이드 화학적으로 살펴보면 유체속에 분산되어 있는 입자는 계면의 전기 이중층에 의해 분산력과 응집력이 균형을 이루는 위치에서 운동이 제약되어 있는 상태이다. 외부에서 전단 응력이 가해지면 이러한 전기 이중층의 일부가 붕괴되고 입자 사이의 반발력이 증가한다. 이러한 작용에 의해 내부구조가 파괴되어 유동이 쉬워지는 것이다. 외부에서 가해지던 힘을 제거하면 전기 이중층이 다시 생성되어 입자의 운동이 점점 어려워지고 결국 내부구조를 다시 회복하여 유동하기 어려운 상태로 돌아가게 된다. Fig. 9에 이러한 요변성의 개념도를 나타내었다<sup>5)</sup>.

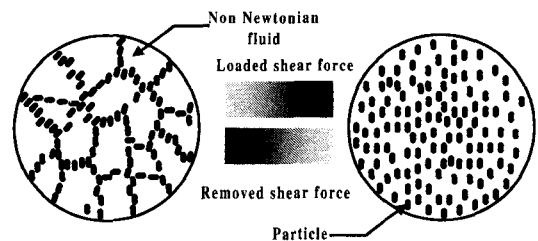


Fig. 9 Thixotropy behavior

광경화성수지의 스크린 메시수에 따른 인쇄결과를 표시하였다. 광경화성수지의 경우 하나의 함량에 대해서만 인쇄가 가능하였다. 20%이하의 경우 많은 변질이 발생하였고, 20%이상의 경우 인쇄

가 끊어지는 현상이 나타났다. 인쇄 후, 경화조건은 2kW출력으로 10초간 경화하였다. Fig. 10과 Fig. 11에 스크린 메시수에 따른 선폭, 번짐율을 표시하였다. 광경화성수지의 경우 스크린메시가 증가할수록 인쇄된 선폭이 점점 가늘어지는 경향을 나타내었다. 번짐율의 경우도 스크린메시가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다.

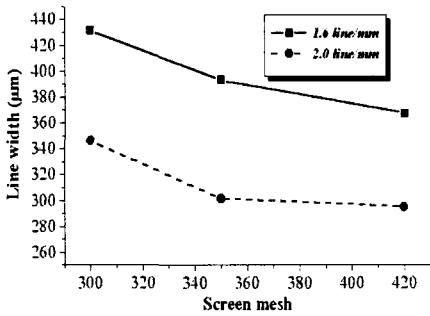


Fig. 10 Graph of line width as screen mesh

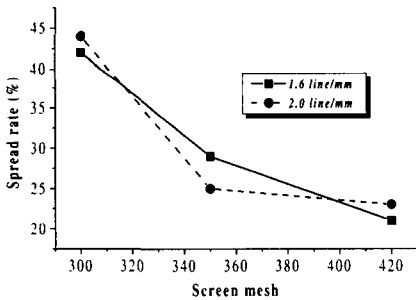


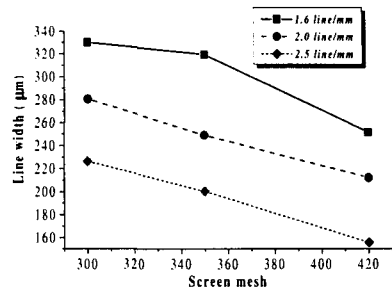
Fig. 11 Spread rate of photo curable resin

### 3.2 도전성 페이스트

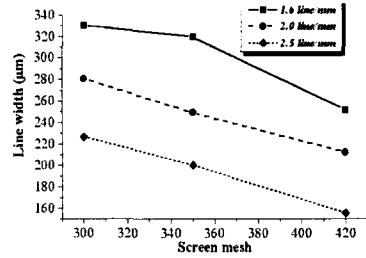
점도가 해상도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 두 가지 도전성 페이스트를 사용하였다. Table 4에 도전성 페이스트의 물성치를 표시하였다.

Table 4 Properties of conductive materials

	Dupont 5007	TAIYO
Viscosity (Pa · s)	20~40	4.5~5.0
Bulk resistivity ( $10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ )	3~4	6~7

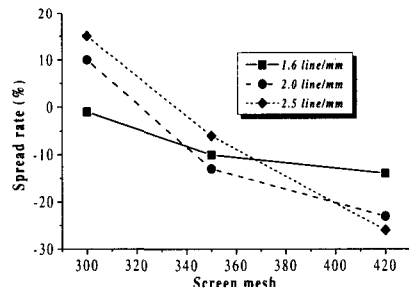


(a) Dupont 5007

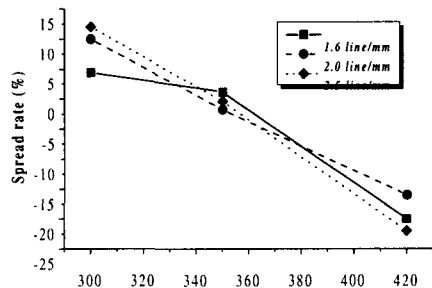


(b) TAIYO

Fig. 12 Graph of line width as screen mesh



(a) Dupont 5007



(b) TAIYO

Fig. 13 Spread rate of conductive materials

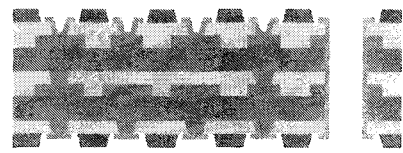
도전성 페이스트의 경우 광경화성이 아닌 열경화성을 사용하였다. 경화조건은 150℃에서 30분간 경화하였다. Fig. 12와 Fig. 13에 두 종류의 페이스트 각각의 선폭, 번짐율을 비교하였다.

#### 4. 빌드업 사례

이러한 인쇄시험결과를 바탕으로 하여 실제 빌드업인쇄회로기판의 제작에 적용하였다. 광경화성수지의 경우 아직까지는 시판되는 열경화성수지에 비하여 물리적, 전기적 특성이 부족하여 실제 빌드업인쇄회로기판의 제작에는 기존의 인쇄회로기판제작시 사용되는 열경화성수지와 도전성 페이스트를 사용하여 제작하였다. 본 연구에서 시도한 새로운 제조 공정을 MISO(Multi Integrated Surface Cffset)공정이라 명명하였다. 이 MISO공정의 장점은 기존의 공정들이 모두 코어를 기본으로 하여 작업이 진행되는데 반해 이러한 코어 없이도 작업한다는 점을 들 수 있다. 이는 설비의 증설이 없이도 빌드업이 가능하다는 것을 의미한다. 또한 기존 공정의 경우 동박을 입힌 수지 판을 사용함으로써 각 층두께가 모두 일정하였으나, MISO공정에서는 인쇄재료의 점도와 적절한 인쇄조건 선정이 뒤따른다면 층두께를 변화시킬 수 있다. 이는 점점 박형화되어 가고 있는 전자 제품의 경향에 비추

어 볼 때 매우 큰 장점이라고 할 수 있다.

또한 기존의 공정이 구리를 도금, 부식시켜 진행되므로 각층의 굴곡이 심하여 많은 층수를 쌓지 못하였으나 MISO공정에서는 얇은 층을 형성시키는 것이 가능하므로, 이론상 층수의 제한이 없이 층을 쌓는 것이 가능하다. Fig. 14와 Fig. 15에 실제 build-up과정과 일반적인 build-up PCB와 단면을 비교한 그림을 나타내었다.



(a) Cross-section of MISO build-up PCB



(b) Cross-section of RCC build-up PCB

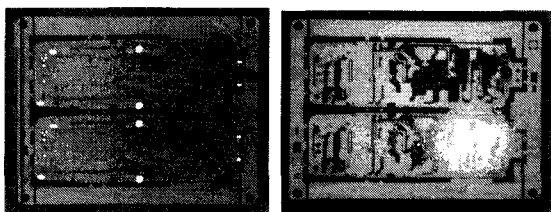
Fig. 15 Comparison with RCC build-up PCB

#### 5. 결론

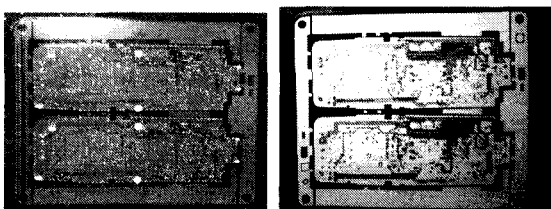
이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 인쇄재료의 점도가 낮은수록 사용되는 스크린의 메시수가 커야만 좋은 결과를 얻을 수 있었다.
2. 인쇄재료의 점도가 높은 경우 적절한 메시의 스크린을 선정해야만 한다.
3. 스크린메시수와 인쇄재료의 점도의 최적화를 통해서 오차가 거의 없는 형상을 구현할 수 있었다.
4. 쾌속조형기술의 적용범위를 전자부품의 제조에도 적용할 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 기존의 쾌속조형기술에서 사용되던 SGC공정과 스크린인쇄기술을 이용하여 빌드업인쇄회로기판을 제작하였다. 인쇄재료의 점도와 스크린메시수가 해상도에 미치는 영향을 조사하여 원하는 선폭의 형상을 얻는데 필요한 조건을 알아



(a)After dielectric printing (b)After conductor printing



(c)After dielectric printing (d)After conductor printing

Fig. 14 Actual build-up process

내었다. 본 연구에서는 4.5~5.0 Pa·s의 점도를 가지는 재료에서 350메시의 스크린을 사용하여 1%정도의 오차를 얻을 수 있었다. 이번 연구에서는 수동인쇄기를 사용하였기 때문에 인쇄범위가 좁았지만, 자동인쇄기를 사용할 경우 더욱 더 넓은 점도 범위의 재료가 인쇄가능 할 것이다.

## 후 기

실험에 많은 도움을 주신 SK-UCB와 한국 TAIYO Ink 관계자 여러분에게 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 藤平 正氣, 藤森 秀信, "多層プリント配線板ステツフ 365," 工業調査会, pp. 1-11, 1996.
2. Russell L. Heisermam, "PRINTED CIRCUIT BOARDS," John Wiley & Sons, pp. 1-10, 53-60, 1983.
3. H. D. Jeong, B. H. Cho, H. W. Jeong, T. Nakagawa, "Development of build-up PCB using rapid prototyping," Proceeding of AFDM '99, pp. 595-596, 1999.
4. Duncan J. Shaw, "Introduction to colloid and surface chemistry," Butterworth Heinemann, pp. 254-255, 1989.
5. 안병렬, "인쇄공학," 세진사, pp. 332-333, 1993.