

Gravure를 코팅방식에서 비산도료에 의한 비디오 신호의 Dropouts

논문
8-5-14

Liquid Mist and Videotape Signal Dropouts in Gravure Roll Coating

김 명룡*
(Myong Ryeong Kim)

요 약

Dropouts in magnetic media are a primary quality deficiency which is detrimental to magnetic signal quality and thus the major impediment to error-free recording, especially in high density digital recorders. The specific form of defects and causes found to be responsible for signal dropouts occurring in magnetic tape were studied. Dropout occurred when the RF signal falls to low level due to the various types of surface defects. However, the fall in the level of the RF signal in gravure roll coated tapes was most often caused by foreign particles adhering to the magnetic tape.

It was also shown from the present study that scattered particles trapped under the tape surface or put on the top can lift it as it crosses the head, creating a spherical tent shaped defect and causing a temporary signal drop. Dropout producing substances were identified through optical and microchemical analyses. The results were correlated with measured electrical signal losses combined with analytical microscopy to clarify source identification of defects.

Keywords(주요용어) : Dropouts (신호결함), Spacing loss (틈새손실), Scattered particle (비산도료), Gravure roll, Video-tape, Surface topography (표면형상)

1. 서 론

자기기록은 미세한 자성체가 증착 또는 도포된 매체 상에 전기신호를 이용해 비디오 페이프나 플로피 디스켓과 같은 자성매체를 자화시켜 이차원 평면상에 자화패턴을 정렬시킴으로써 정보를 기록하고, 기록시와 동일한 속도로 매체를 주행시켜 거리에 따른 자속의 변화에 의해 헤드의 코일에 유도된 출력전압의 형태로 매체에 기록된 정보를 읽어 낸다.¹⁾ 이때, 신호의 세기는 자화의 정도(세기)로, 신호의 극성은 자화의 방향으로, 주파수는 자석의 길이에 대응되며, 자기기록과 이의 재생과정에서 자기 테이프의 결함으로 인해 매체로부터의 재생출력이 순간적으로 저하되는 현상이 발생되는데 이를 dropout이라 한다.^{2,3)} 재생시 dropout이 발생되면 TV화면 상에 흰점(신호의 누락) 혹은 선

으로 나타나며, 그 정도가 심할수록 화면의 좌측에서 우측으로 이동하는 흰점이 많거나 길게 생겨 화질을 크게 떨어뜨린다.⁴⁾ 실제 VTR에서는 이 같이 신호가 누락된 부분을 그 주위의 tone에 맞추어 보상해 줌으로써, 인간의 눈에 띄지 않겠음 dropout 보상회로를 설치해 운용한다. 그러나 이런 방법으로도 전체적인 신호누락을 완전히 제거할 수 없으므로, 사실상 비디오 테이프의 화질을 결정하는 가장 중요한 결함중의 하나가 dropout이다.

한편, 테이프는 연속공정으로 제조되며 분산된 도료를 베이스 필름(polyethyleneterephthalate, PET) 위에 도포시키는 코팅공정과 calendering, 경화(curing), 가공공정(slitting)으로 이루어진다. Gravure롤의 cell 속에 분산이 완료된 도료를 담아 주행하는 베이스 필름면에 도료를 전사(transfer)시켜 도포하는 코팅공정은 gravure를 방식에 kneading롤로 두께를 조절하는 방식이 현재 폭넓게 이용된다. 이러한 코팅방식에서 심각한 문제중의 하나가 코팅시의 도료의 분리현상이며, 이는 생산성향상을 위해 도포속도를 증가시킬 때 현저히

* : LG전자기술원 소재재료연구부문

접수일자 : 1995년 2월 25일

심사완료 : 1995년 7월 12일

악화됨으로써 이에 의한 출력저하를 유발하는 이물이나 도막면의 결함을 규명하여 제거하는 것이 제조업계의 큰 관심사이다. 따라서 본 연구에서는 테이프의 제조에 널리 사용되는 gravure를 코팅방식에서 도료비산이 발생하는 기구와 그 발생정도에 따른 제품수율, 도포속도와의 상호관계를 조사하였다.

II. 실험방법

본 연구에 사용된 테이프 시편은 자성체(Co 가 피착된 $\gamma-Fe_2O_3$)와 혼합용제 및 결합제(binder), 연마제(abrasive), 대전방지제, 윤활제, 경화제 등을 원료로 사용했다. 먼저 이들 원료는 다단계의 분산 및 여과공정을 거쳐 도료를 준비하고 이를 얇은 베이스 필름위에 전사시켜 도포한 후, 건조공정과 가공공정을 통해 최종테이프 시료를 제조하였다. 한편, 테이프에서 결합에 의한 dropout 발생을 검증하고 coater에서 도료의 비산상태를 조사하기 위해서 그림1과 같이 배치된 롤의 전면부에 투명한 필름을 거치시켜 비산도료를 받았다. 이때 비산도

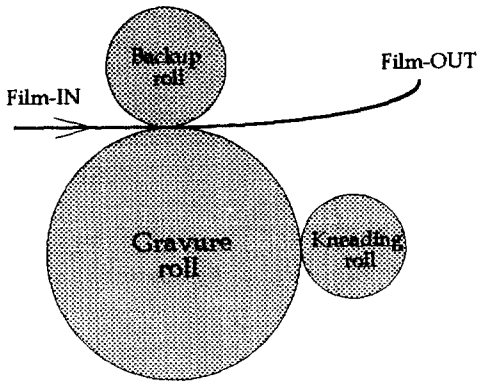


그림 1. Gravure 코팅방식에서 각종 롤의 배열을 나타낸 모식도

Fig. 1 Schematic illustration of roll arrangement in a gravure roll coating

료가 굳기전과 후의 효과를 볼 수 있도록 시간간격을 조절해 시편을 채취하였다. 이같이 준비된 시료를 건조시켜 표면형상을 관찰하고 이들이 실제 테이프의 표면에서 관찰되는 결함과 비교하기 위해 테이프에 생긴 표면결함의 형상과 크기를 mapping하였다. 이를 위해서 독일 UBM 사에서 제작한 미세초점 조절기능을 갖춘 광학표면측정기

(laser confocal scanning optical microscopy)를 이용하였다. 또한 dropout 측정을 위해서는 counter의 trigger를 16dB과 $15\mu\text{-sec}$ 에 미리 정해 놓음으로써 이를 초과하는 결함이 감지될 경우, dropout으로 감지될 수 있도록 하였다. 특히 본 연구에서는 실제 테이프 제조공정에서 채취한 시편의 현물분석에서 나온 dropout발생과 결합과의 관계를 일대일(1:1)로 대응시킴으로써 dropout 발생요인을 조사하였다. 또한 비산입자와 이물의 조성분석을 위해서 energy dispersive X-ray spectrometer (EDS)를 사용하였고, 결합에 의해 발생된 신호누락을 확인하고자 dropout counter에서 측정이 끝난 시편을 채취해 테이프의 결합부위에 현상액을 얹고 균일하게 발라 dropout 발생여부와 그 정도를 관찰하였다.

III. 실험결과 및 토론

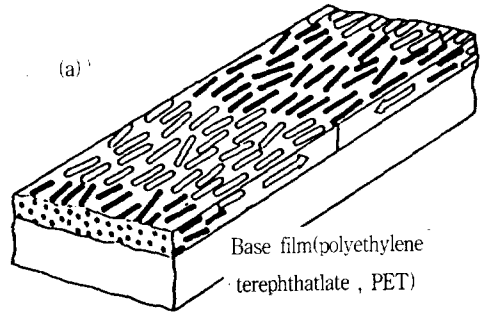


그림 2. 비디오테이프의 전형적인 구조와 자성체 입자의 투과전자현미경 사진

Fig. 2(a) Schematic drawing of a typical videotape

(b) TEM micrograph showing the acicular shape of magnetic particles

그림2는 본 연구에 사용된 테이프 시편의 모식도와 도포된 자성체의 형상과 크기를 투과전자현미경(TEM)으로 관찰한 결과이며, 도포후 배향자석에 의해 정렬된 자성의 배열을 Fig.2(a)에서 보여 준다. 또한 그림2(b)에서는 가늘고 긴 자성체입자를 볼 수 있으며, 그 길이는 약 300~400 nm이고 두께가 길이의 1/6~1/8로서 형상인자(aspect ratio)가 커서 형상자기이방성(magnetic shape anisotropy)이 큰 것이 특징이다. 한편, 본 연구에서는 특히 실제 테이프 제조공정에서 채취한 시편의 현물분석에서 나온 dropout 발생과 결함과의 관계를 일대일로 대응시킴으로써 dropout 발생요인을 조사하였으며, 주요 결함의 형태를 모식화하여 나타낸 것이 그림 3 이다. 그림에서 알 수 있듯이 테이프에서 관찰되는 결함으로는 도포된 자성층에 발생한 오염과 찍힘, 베이스 필름의 돌출형 계재물이 도막면 쪽으로 내민 결함, 그리고 이물 등이 주류를 이루고 있었다. 이 외에도 비산입자에 의한 표면결함이 다수 존재함을 확인할 수 있었는데, 이에 관해서는 뒤에서 별도로 언급하겠다.

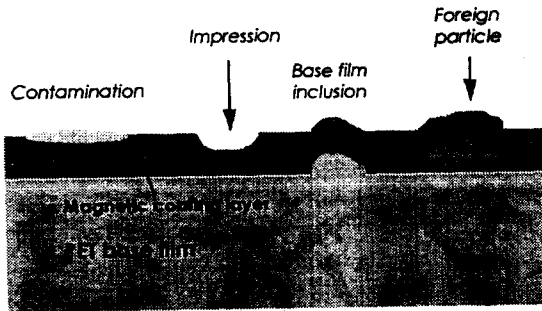


그림 3. 자성테이프에서 관찰되는 표면결함의 모식도

Fig. 3. Schematic drawing of surface defects appearing in magnetic tapes

그림4는 dropout counter에서 측정된 시편의 결함부위를 알기위해 테이프 이동속도(33.35mm/sec)를 감안하여 역으로 계산한 다음, 그 부위에 순철의 미세입자를 현탁액으로 만든 현상액을 발라 현미경으로 관찰한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 테이프의 표면에 결함이 존재함으로써 트랙피치가 $58\mu\text{m}$ 인 VHS 표준 테이프에서 신호누락이 3~4개의 트랙에 걸쳐 발생되었다. 한가지 흥미있는 것은 그림 4(b)와 같이 비산도료에 의해 생긴 결함은 구형인 반면, 통상의 결함(그림 4a)은 각이진

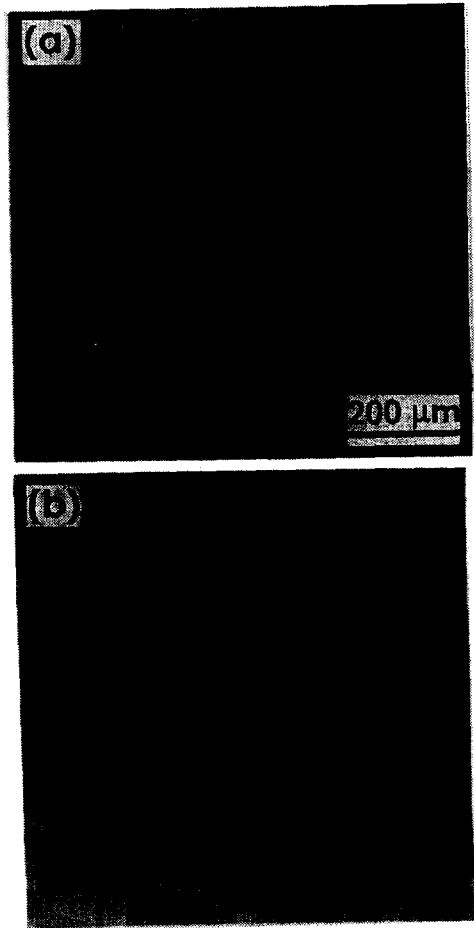


그림 4. Dropout 발생시편에서 결함부위를 현상시킨 후의 광학현미경사진

Fig. 4. Typical examples of optical micrographs in the dropout surface of developed specimen

모습이어서 차이를 보이고 있다. 예를 보여준다. 이는 비산도료의 경우 비교적 유동성이 큰 액체상태에서 표면에너지 줄이기위해 구형으로 된 것임을 알 수 있었다. 실물분석에서 얻어진 표면결함의 유형을 보면 정상적인 도막표면과는 달리 반구형의 요철(凹凸)형태일 경우 그림5와 6에서와 같이 테이프 표면에 빛을 조사하면 결함부에서 난반사가 일어나 반짝이는 것을 알 수 있다. 이들 결함의 크기는 코팅공정에서의 돌기크기와 유사한 $100\mu\text{m}$ 의 이내의 크기를 갖고 있었으며, 작은 경우 $30\mu\text{m}$ 정도의 크기였다. 광체결함은 형태에 따라 도막 덩어리가 엉겨붙어 생긴 돌기와 이것에 의해 전사된 형태의 결함으로 구분할 수 있었으며, 돌기형태는

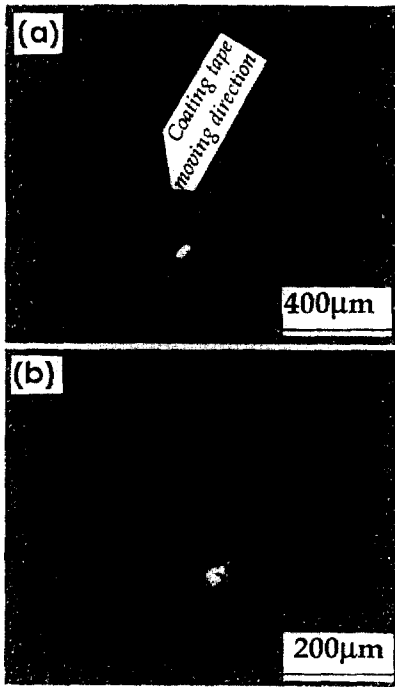


그림 5. 비산입자에 의한 테이프의 표면결함
 Fig. 5. Optical micrographs of typical surface defects due to the scattered particle during magnetic coating

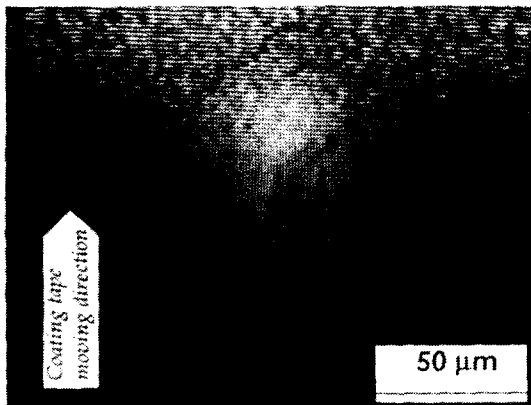


그림 6. Dropout 발생부위의 광학현미경 사진
 Fig. 6. Typical example of optical micrographs showing the defect region in a tape surface

동일하나 표면을 calendering 함으로써 돌기의 높이가 낮아진 것이 특징이었다(그림6). 이들 결함의 돌출부를 보면, 원형돌기의 상단에 테이프의 주행 방향으로 scratch가 생긴 것을 쉽게 알 수 있으며,

이들 돌기의 표면형상을 조사하고자 비접촉 표면광학측정기를 이용해 결함표면을 mapping하였다(관찰된 결함의 최고높이: 4.23 µm). 이로부터 자기기록과 재생과정에서 이상적으로는 물리적인 접촉이 요구되지만, 비산도료로 인해 이같이 틈이 발생함으로써 틈새손실에 의한 신호누락이 생겼음을 알 수 있다. 테이프의 표면결함에 의한 dropout은 자성입자를 포함한 테이프가 VTR헤드를 통해 나온 자장에 의해 자성층을 자화시킴으로 신호기록시 헤드와 도막면 사이에 이물이 존재하거나 자성층 자체에 어떤 결함을 갖고 있어, 헤드가 테이프의 자성층에 밀착되지 못해 틈이 발생되고 그 결과, 신호가 약화되거나 누락됨으로써 출력이 저하되는 것으로 요약될 수 있다.

한편, 위의 결함형태에서 앞에서 보인 코팅된 도막면위에 도료가 영겨붙은 형태의 돌기는 마치 반구가 없어 놓인 듯한 형상외에 반구형의 돌기가 공기층을 포함하고 있다가 공기가 외부로 빠져 나오

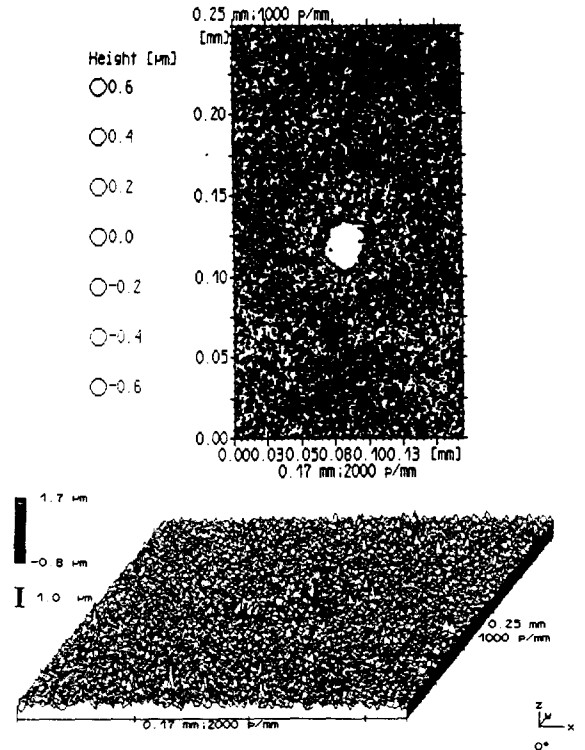


그림 7. 비산에 의해 생긴 테이프 표면돌기의 형상의 예(구형)
 Fig. 7. Surface morphology of the scattered particle with a spherical shape on the tape surface

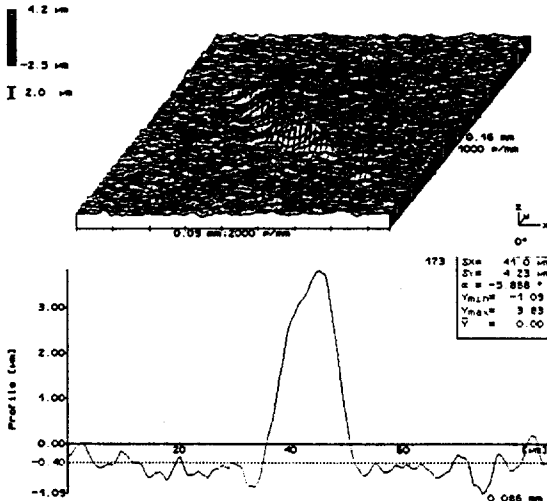


그림 8. 비산에 의해 생긴 테이프 표면돌기의 형상의 예(꼬리달린 구형)
 Fig. 8. Surface morphology of the scattered particle with a tail

면서 마치 화산의 분화구와 같은 형태를 보이는 것들도 관찰되었다(그림 4). 이들 돌기를 EDS로 분석한 결과, 도료와 동일성분이나, Fe의 함유량이 주변의 도막면보다 3~4% 정도 높은 것으로 나타났다. 따라서 코팅층보다 빨리 건조된 도막덩어리가 코팅중 튀어 들어가 돌기형태로 나타났거나 혹은 비산된 도료가 gravure를 표면의 셀 속으로 다시 들어가 코팅 직후에는 도막속에 묻혀 있다가 건조기를 통해 건조하는 과정에 휘발성분의 용제가 휘발된 후 분출되어 돌기형태로 남은 것으로 판단된다.

도료비산에 의한 표면결합의 발생이 테이프의 dropout 발생과 밀접한 관계가 있다면 이는 코팅 속도에도 크게 의존할 것으로 기대되어, 이를 조사한 결과가 그림 9이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 제품수율과 도포속도는 서로 반비례하는 양상을 보인다. 즉, 분당 330m로 도포할 경우, 약 70% 이상의 제품수율(예: 16 μ sec & 16dB 결함이 5개 이하인 제품의 분율)을 얻을 수 있었지만, 동일한 도료를 분당 380m의 속도로 코팅할 경우 수율이 30%까지 하락하였다.

이는 도포 속도가 증가함에 따라 비산의 발생정도가 심해지고 그 결과 이에따른 결함의 발생이 증가된데 기인할 것으로 판단되며, 비산 발생기구의 검토를 위해 모식도를 그림 10에 나타내었다. 즉 gravure를 코팅방식에서는 백업롤과 gravure 롤이 만

시계 방향으로 회전함에 따라, gravure 롤 표면의 셀 내부에 존재하는 자성도료는 베이스 필름에 전사된다.

이때, 액체 도료내의 압력분포는 득(bank) 직전의 B부위에서 최대(인가)가 되고 이곳에서의 액체의 유동은 난류거동을 보인다. 한편, 전사가 진행됨에 따라 도료내의 인장압력은 점차 감소하여 결국에는 압축응력으로 바뀌고 지점 A에서는 최대의 응력을 액상도료는 경험하게 된다. 이는 도료의 전사가 완료됨에 따라 물표면과 베이스 필름으로 분리가 됨에 따라 액체내부에 미세한 크기의 cavity가 발생(위치 B)하기 때문인데, 완전한 분리가 일어나는 단계에서 이 cavity는 과열되면서 비산입자를 만드는 것으로 해석된다.

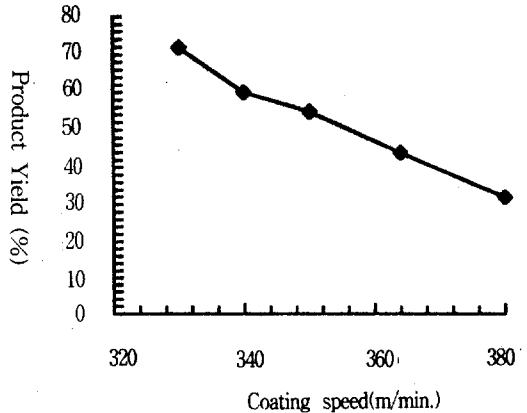


그림 9. 제품수율과 도포속도 간의 상호관계
 Fig. 9. Product yield as a function of coating speed

이때, 비산입자의 크기는 작게는 sub-micron(μm)에서 크게는 수백 μm에 이르기까지 다양한 것으로 확인되었다(그림11). 특히, 비산입자의 지름이 작은 경우에 표면적에 대한 체적비가 커서 비행도중 응고가 완료된 상태로 달라붙음으로써 돌기형태의 표면결함을 유발하는 것으로 해석된다.

한편, 도료내에 존재하는 가스의 양도 비산입자의 형성에 영향을 미칠 것으로 판단되어 이를 조사하였다. 즉, 도료내에는 일정량의 가스가 트랩되어 존재하고 이들이 난류거동을 보이는 bank부위에서 와류에 의해 수는 감소하지만 크기가 증가하여 도료내부에 안정되게 존재하기가 곤란할 만큼 성장하는 것이 관찰되었다. 이같은 거동은 공급도료 내에 함유된 가스에 의해 형성된 기포의 예를

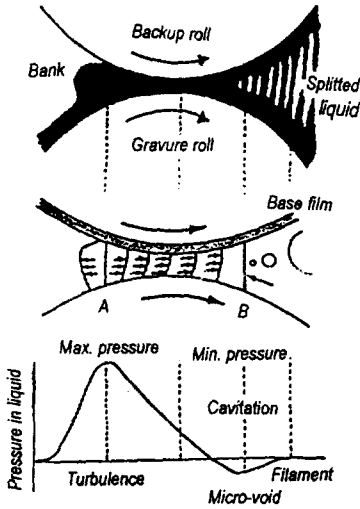


그림 10. Gravure를 코팅방식에서 비산입자의 발생과정

Fig. 10. Formation of scattered particles in the gravure roll coating

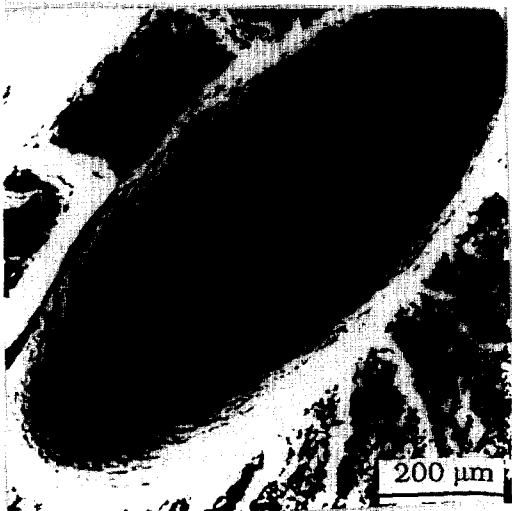


그림 11. 공급도료내에 함유된 가스에 의해 형성된 기포의 광학현미경 사진

Fig. 11. Optical micrograph of porosity originated from residual gas

테이프의 측면에서 관찰한 그림11에서 더욱 명확히 알 수 있다. 대형기포는 자유표면으로 나오면서 터져 위에서 언급한 것과 유사한 비산입자를 형성시키는 것으로 판단된다. 따라서, Gravure를 코팅방식에서 크게 문제가 되는 비산에 의한 결함의 발생을 줄이려는 시도는 우선 도료의 점도를 유동

성을 해치지 않는 범위내에서 증가시키고 도료내의 기포의 양을 줄이는 방향으로 검토되어야 함을 본 연구결과는 암시하였다.

IV. 맺음말

Gravure를 코팅방식으로 제조한 자성테이프에서 dropout발생과 결함과의 관계를 현물분석을 행함으로써 dropout 발생요인을 조사하여 다음과 같은 결론이 도출되었다; (1)테이프에서 관찰되는 결함으로는 도포된 자성층에서 발생한 오염과 적합,베이스 필름의 돌출형 제재물 및 이물 등이 주류였다. (2)Dropout counter에서 측정된 시편의 결함부위에 현상액을 발라 현미경으로 관찰한 결과, 테이프의 표면에 비산입자에 의한 결함이 존재함으로써 3~개의 신호누락을 VHS(표준)테이프에서 발생시켰다. (3)비산입자에 의해 생긴 표면결함은 도막 덩어리가 엉겨붙어 생긴 돌기와 이것에 의해 전사된 형태의 결함으로 구분되고, 결함의 높이는 수 μm 을 초과할 수 있음이 확인되었다.(4)도포속도와 제품수율은 반비례하였으며, 도료가 도포중 베이스 필름에 전사되는 단계에서 분리됨에 따라 액체내부에 미세한 크기의 진공 cavity가 생기고 이것이 파열됨으로써 작게는 sub- μm 에서 크게는 수백 μm 에 이르기까지 다양한 크기의 입자비산이 발생하였다.

※ 본 연구에서 테이프 표면에 생긴 미세결함의 형상과 크기는 UBM사에서 제작한 미세초점 조절 기능을 갖춘 laser confocal scanning microscopy를 사용해 mapping하였으며,저자는 이의 사용을 허락해 주신 성원 HIGH-TECH(주) 여러분께 진심으로 감사 드린다.

참고 문헌

- [1]. R. D. Fisher, L. P. Davis, and R. A. Cutler: "Magnetic Characteristics of g-Fe₂O₃ Dispersions" IEEE Trans. (Magn., Vol.MAG-18, No.6 (1982) p.1100
- [2]. G. W. Baumann: "Sizing Debris Tents under Magnetic Tape", Machine Design Vol.58, No.5 (1986) p.146-51
- [3]. L. A. Meeks: "Dropout Characteristics of Instrument Tape and Approaches to Correction", Electronic Engineering Vol.54,

No.663 (1982) pp.117-27

- [4]. W. N. Waggner: "The Effects of Tape Dropouts on Pulse Compression Recording", '80 International Tele. Conf., CA, USA (1980) pp.101-110

저자소개

김명룡



1960년 3월 1일생. 충북대학교/서울대학교 금속공학과 졸업. 미국 Iowa 주립대학교 재료공학과 졸업(MS). 미국 Univ. of Utah 졸업(Ph. D.). 현대용접기술연구소 연구원(84-87). IBM Rochester연구소 위촉연구원(91-92), LG 전자기술

원 소자재료연구부문 책임연구원(1993-현재), Optical data storage, 표면처리, 기능성재료의 합금설계.