

## Soft X-ray를 이용한 Polymer Plastic Film/Sheet In Line 두께 측정기 연구

나세흠, 이기홍, 조문신<sup>1</sup>, 고영복<sup>1</sup>, 서정철<sup>2</sup>, 김성수<sup>3</sup>, 이문용\*  
 영남대학교, <sup>1</sup>Casa Tech. 주식회사, <sup>2</sup>원광대학교, <sup>3</sup>목원대학교  
 (mynlee@yu.ac.kr\*)

**Research of Polymer Plastic Film/Sheet In Line Thickness Measurement  
 using Soft X-ray**

Sehum Na, Kihong Lee, Moonsin Jo<sup>1</sup>, Youngbok Ko<sup>1</sup>, Jungchul Seo<sup>2</sup>,  
 Sungsu Kim<sup>3</sup>, Moonyong Lee\*  
 Yeungnam Univ., <sup>1</sup>Casa Tech., <sup>2</sup>Wonkwang Univ., <sup>3</sup>Mokwon Univ.  
 (mynlee@yu.ac.kr\*)

## 1. 서론

필름 제조공정은, 용융형태의 원료물질을 필름형태로 변환하는 필름 토출부, 제조된 필름의 두께를 측정하는 두께 측정기, 그리고 필름 토출부와 두께 측정기를 연동시켜 두께의 균일성을 유지시켜주는 자동두께제어(ATC:Automatic Thickness Control) system으로 구성되어 있다. 필름두께 측정, 제어는 제품의 품질관리 및 원가 경쟁력과 직결되기 때문에, In-Line 필름 두께 측정, 제어 설비는 필수적이다. 현재 사용되고 있는  $\beta$ -ray를 이용한 두께 측정기는, 선원은 대단히 안정하지만 몇 가지 문제점이 있다. 반면 soft x-ray를 이용한 경우, 선원의 안정성은 다소 떨어지지만  $\beta$ -ray에 비해 인체에 안전하고 측정대상물질의 가변성이 뛰어나고 유지관리비용이 저렴하다는 장점이 있기 때문에 최근에 개발되어 주목 받고 있다.

따라서 본 연구에서는 soft x-ray를 이용한 두께 측정기를 개발하여 ATC system과 결합함으로써, 필름 두께를 완벽히 제어할 수 있는 "Soft x-ray를 이용한 지능형 In-Line 필름 두께 자동 측정, 제어 system"을 개발하고자 한다.

## 2. 이론

주성분 분석법(principal component analysis)

화학 공정 변수들은 보통 상관관계가 크기 때문에, 이런 관련성을 이용하여 수 백 개의 변수를 단 몇 개의 주성분(PC ; principal component)으로 나타내는 것이 가능하다. 이런 방법으로 분석하는 기법을 PCA라고 하는데, 이 PCA를 이용하여 데이터를 축소(reduction), 모델링(modeling), 이상치 감지(outlier detection), 변수선별(variable selection), 분류(classification) 그리고 예측(prediction) 할 수 있다.

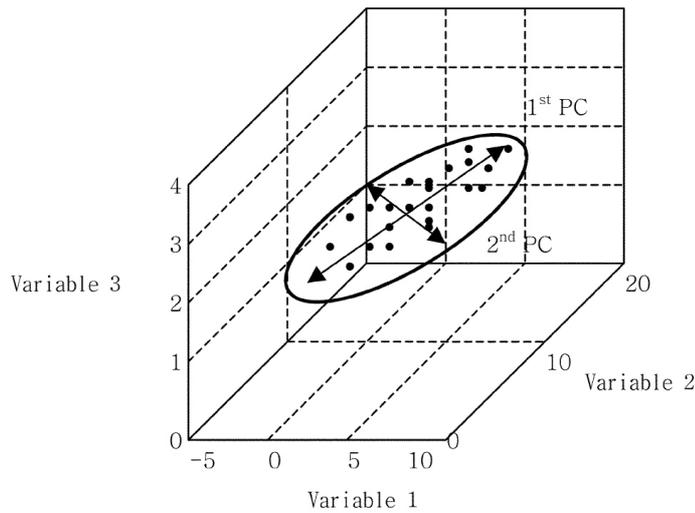


그림 1. Geometric interpretation of principal component analysis

그림 1.과 같이 공정 변수를 각 축으로 하여 데이터의 분포를 나타낸 상태에서, 가장 큰 편차를 갖는 방향에 대하여 축을 정의하고 이것을 첫 번째 주성분(PC 1)이라 한다. 그리고 이 축에 투영시킨 정사영 값들을 스코어(score)벡터라고 한다. 다음 단계로 PC 1과 직교하도록 그 다음으로 큰 편차를 갖는 방향에 대하여 두 번째 주성분(PC 2)을 잡을 수 있다.

이런 식으로 편차가 큰 순으로 PC를 정의해 나갈 수 있는데, 만들어진 순서대로 모델을 설명하는 정도가 크기 때문에 앞쪽의 몇 개 PC만으로 전체의 모든 변수를 대략적으로 나타낼 수 있다. 데이터 행렬,  $X$ 를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$X = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} = T_a P_a^T + E = \sum_{k=1}^a t_k p_k^T + \sum_{k=1}^a e_k$$

여기서  $I$ 는 각 샘플의 인덱스,  $j$ 는 각 변수의 인덱스이고  $x_{ij}$ 는  $I$ 번째 샘플의  $j$ 번째 변수 값이며,  $X_{sm}$  이  $X_{ij}$ 값들을 모아놓은 행렬이다.  $a$ 는 PC의 개수,  $T$ 는 PC들을 모아 놓은 행렬,  $P$ 는 PC별로 변수의 영향력을 나타내는 가중치(loading)행렬 그리고  $E$ 는 잔차(residual)행렬을 나타낸다.  $t_k, p_k$  그리고  $e_k$ 는 각각  $k$ 번째 스코어 벡터, 가중치 벡터 그리고 잔차벡터이다. 즉,  $X$ 를 저 차원 상에서 행렬의 곱( $TP^T$ )으로 근사할 수 있는데, 이는 단지  $a$ 개의 축에 투영시킨 값과 그 가중치의 선형적인 합만으로 시스템을 묘사할 수 있다는 것을 의미한다.

### 실험 및 분석

Soft X-ray의 에너지를 측정하기 위해 측정기구의 각 Channel에 해당하는 에너지를 Calibration 하였다. 그림 2에서 X축은 Channel(혹은 Energy), Y축은 특정시간동안 카운트된 X-ray(또는 포톤, 전자기파)의 수이다.



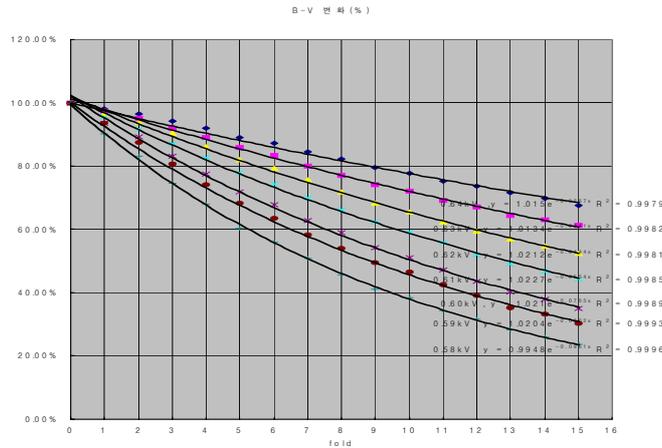


그림 5. B-V 변화(%)

### 결과 및 고찰

상기와 같은 기초 연구를 통하여 Soft X-ray의 에너지 분포를 확인 하였고, 특히 두께를 측정하고자 하는 폴리머가 낮은 영역의 X-ray와의 반응이 두께추정에 이용할만큼 충분함을 확인 하였다. 또한 Detector에 걸어주는 고전압과, Detector와 Source와의 거리관계를 확인하였고, 이를 바탕으로 측정기 제작에 필요한 기구부의 필요 정확도와 전자 장비의 필요 정확도를 확인 할 수 있었다.

soft X-ray generator와 In-Line 제어기술은, 측정대상물질에 따라 sensor의 조건만 바꾸면 상기한 금속박막의 In-Line두께 측정과 성분분석, 결함 검출기, x-ray imaging기술 등의 분야에 확대 적용이 가능하여 파급효과가 예상된다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Hongwei Tong, "Studies in Data Reconciliation Using Principal Component Analysis," PH. D. Thesis, McMaster University, Hamilton, Canada, (1995)
2. Hongwei Tong and Cameron M. Crowe, "Detection of Gross Errors in Data Reconciliation by Principal Component Analysis," AIChE J., 41, pp.1712-1722,(1995)
3. Chonghun Han and Dong-Myung Yoon,"Fault Detection and Diagnosis in Film Processing Plants",HWAHAK KONGHAK vol. 41, No. 5, pp. 585-591(2003)
4. Wold, S. Kim, E. and Gela야, P., "Principal Component Analysis,"Chem. and Int. Lab. Sys., 2, 37-52(1987)