

On-line Monitoring and Fault Diagnosis of MPCA and MICA

온라인 모니터링을 위해 배치 4와 10을 제외한 53 reference batches에 대해 MPCA and MICA models이 구해졌다. 온라인 공정 모니터링을 위해서 비정상 배치를 위해 왜란(disturbance)이 도입되었다. 표2는 왜란을 도입하기 위한 3가지 시뮬레이션 시나리오를 나타낸다.

첫번째 왜란에 대한 MPCA/MICA 결과는 그림 8과 9에 나타나 있다. 첫번째 왜란은 glucose feed rate가 샘플50에서 갑자기 10% 감소하고 배치 마지막까지 유지된다. 그림 8에서 Hotelling's T^2 chart of MPCA는 작은 크기의 외란을 탐지하기 어렵고 SPE value of MPCA 샘플 70에서 약간 증가하여 배치종료시까지 감소한다. 반면에, 온라인 MICA방법은 MPCA보다 훨씬 빨리 첫번째 왜란을 탐지한다. 이는 MICA방법이 non-Gaussian distribution이라는 feature extraction방법에 기초하기 때문에 공정의 중요한 영향 인자를 더 잘 뽑아낸 모델이 기초한다. 그림 9은 MICA가 정확히 외란을 탐지하는 결과를 보여주고 있다. 그림 10은 외란의 원인을 찾기위해 200시간에서 MICA모델의 \hat{f} , I_e^2 과 SPE charts 각각에 대한 contribution plots을 나타낸다. Contribution plot은 \hat{f} statistics에서 the glucose feed rate (variable 3), the dissolved oxygen concentration (variable 5), and the culture volume (variable 6)가 normal data에 비해 커다란 영향을 끼침을 알 수 있다. 이는 glucose feed rate외란이 특별히 the culture volume and dissolved oxygen concentration에 영향을 많이 끼쳤음을 알 수 있다. 이는 glucose feed rate감소가 micro-organism reaction rate를 감소시켜서 페니실린 생성 속도를 감소시키고 이것이 culture volume을 감소시킴을 알 수 있다.

두번째 왜란에 대한 MPCA/MICA 결과는 그림 11과 12에 나타나 있다. 여기서는 기질 공급속도(substrate feed rate)가 시간 $100hr$ 부터 시간 $250hr$ 까지 기울기 -0.003 를 가지고 선형으로 감소하였다. 작은 크기의 왜란의 경우 MPCA는 feature extraction방법이 Gaussian distribution assumption에 기초하고 Schwart chart에 기초하므로 작은 크기의 외란을 탐지하기는 어려운 특징을 지닌다. 그림 11에서 보면 온라인 MPCA방법은 작은 크기의 외란을 탐지 못한다. 반면에 온라인 MICA방법은 non-Gaussian distribution이라는 feature extraction방법에 기초하기 때문에 공정의 중요한 영향 인자를 더 잘 뽑아낸 모델이 기초한다. 그림 12은 MICA가 정확히 외란을 탐지하는 결과를 보여주고 있다. 그림 13은 외란의 원인을 찾기위해 200시간에서 MICA모델의 f^2 , l_e^2 과 SPE charts 각각에 대한 contribution plots을 나타낸다.

☿ 2. Three simulation scenarios in the penicillin fermentation.

simulation number	scenarios	simulation pattern
1	Normal batch	Normal operation batch
2	Step disturbance	Glucose feed rate is suddenly decreased by 10% at sample 50 and then maintained at that lower rate until sample 400
3	Ramp disturbance	Glucose feed rate is linearly decreased with a slope of -0.003 from sample 100 to 400

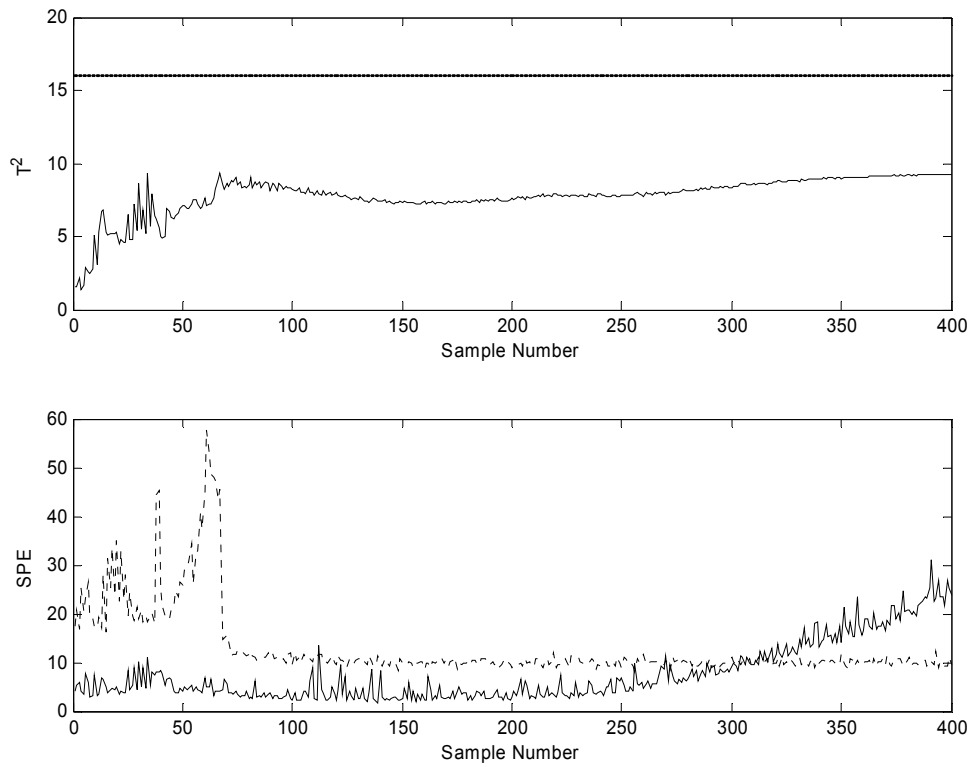


Figure 8. On-line MPCA monitoring charts for an *abnormal* test batch in which the substrate feed rate was decreased by 10% at sample 50: T^2 and SPE charts with 99% control limits.

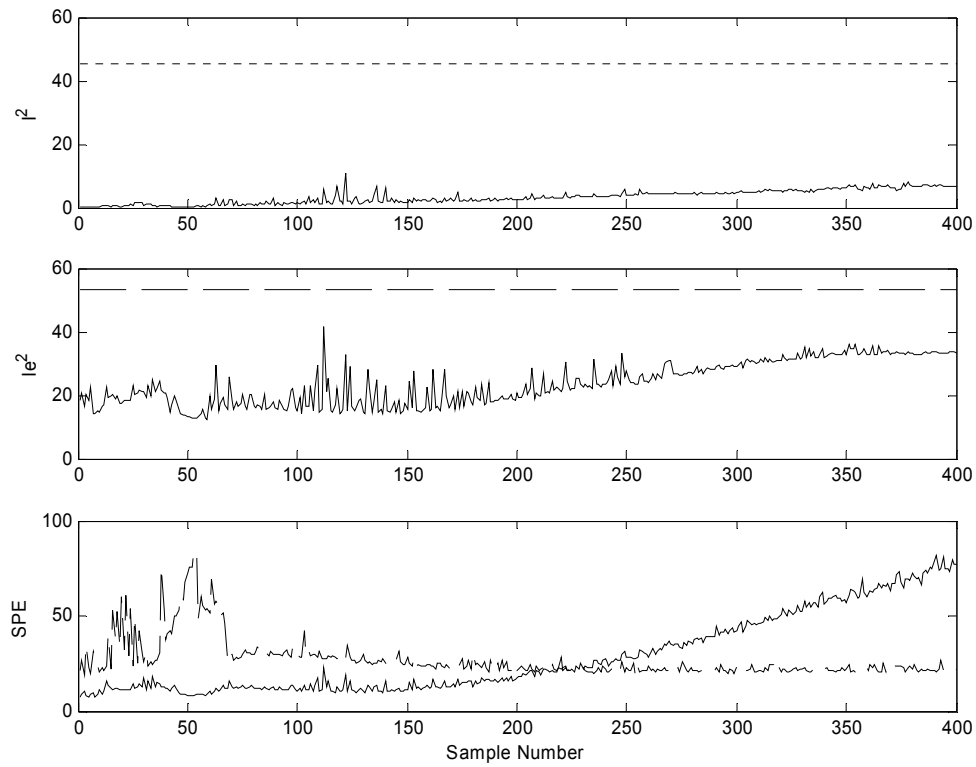


Figure 9. On-line MICA monitoring charts for an *abnormal* test batch in which the substrate feed rate was decreased by 10% at sample 50: I^2 , I_e^2 and SPE charts with 99% control limits.

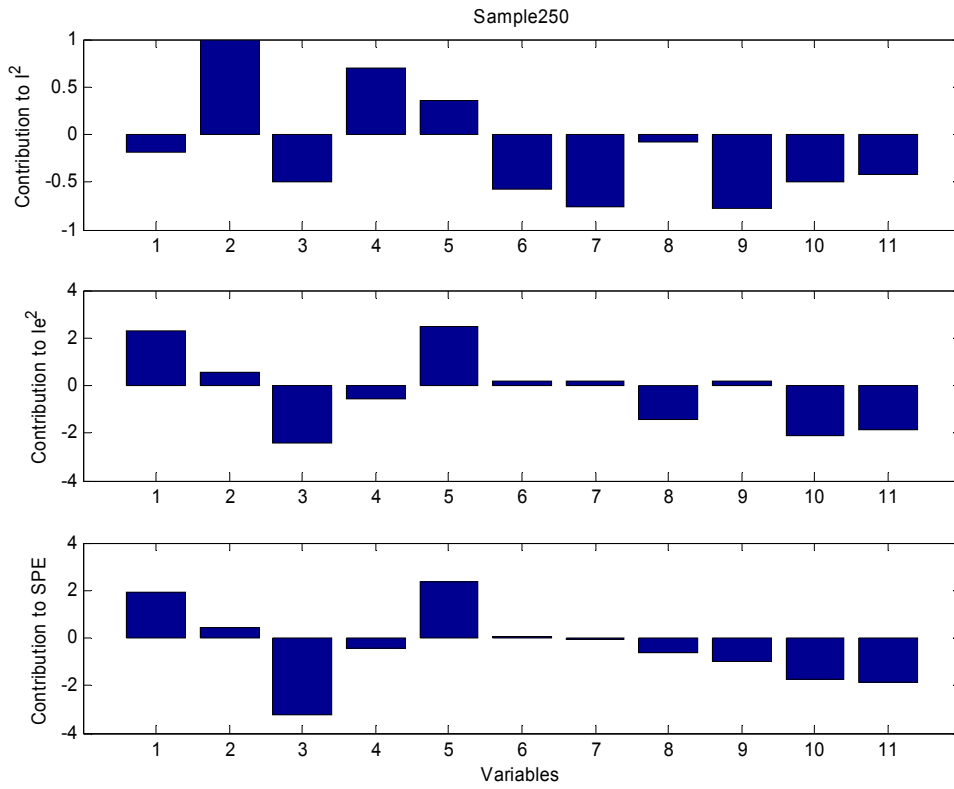


Figure 10. Contribution plots at sample 200 of the MICA model for the *abnormal* test batch in which the substrate feed rate was decreased by 10% at sample 50: I^2 , I_e^2 and SPE contributions.

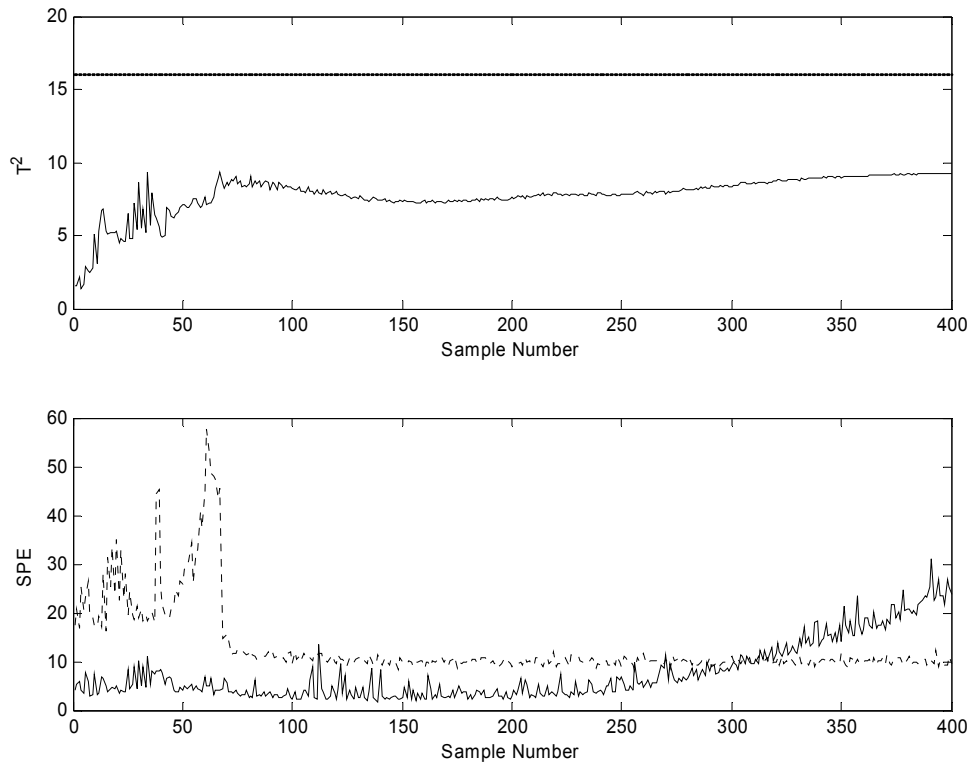


그림 11. On-line MPCA monitoring charts for an *abnormal* test batch in which the substrate feed rate was decreased by 10% at sample 50: T^2 and SPE charts with 99% control limits.

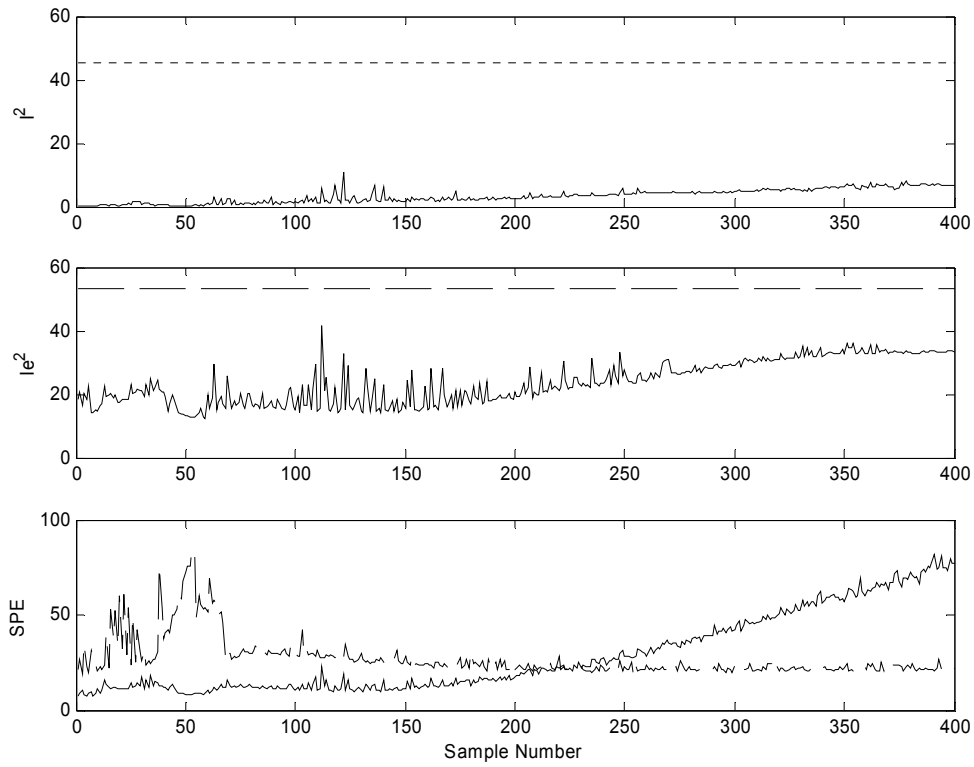


그림 12. On-line MICA monitoring charts for an *abnormal* test batch in which the substrate feed rate was decreased by 10% at sample 50: I^2 , I_e^2 and SPE charts with 99% control limits.

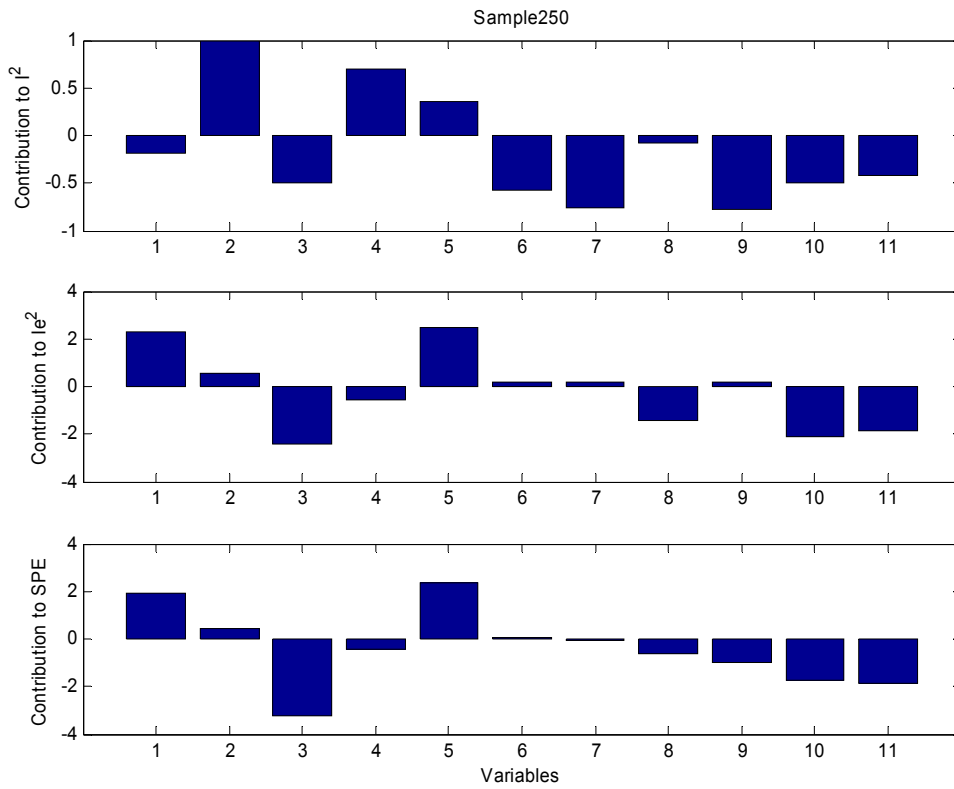


그림 13. Contribution plots at sample 200 of the MICA model for the *abnormal* test batch in which the substrate feed rate was decreased by 10% at sample 50: I^2 , I_e^2 and SPE contributions.