

X-Rs 와 EPC통합모형의 사례연구 An Application of the Integrated Model of X-Rs / EPC

정 해 운

오산대학 산업시스템경영과

Hae-Woon Jung

Industrial System Management , Osan College

Abstract

SPC와 EPC의 통합은 연속공정산업에서 성공적으로 사용된다. 그러나, 이산적인 부품 제조공정의 모니터링과 연속 생산공정 모니터링 양쪽 모두를 포함하는 산업에서의 통합기법을 적용하기 위해서는 실시간 보정과 공정조절 등에 관한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 SPC와 EPC의 차이를 비교분석하고, 혼성 산업에서 SPC와 EPC를 성공적으로 통합하여 효율적인 공정관리의 적용 사례를 제시하고자 한다.

1. 서론

SPC는 가피원인을 탐지하는 역할을 하여 공정평균 또는 산포의 변화를 감소하도록 한다. 공정변화를 감소하도록 하기위하여 공정기술자나 생산기술자 또는 작업자가 생산을 중단시키고, 가피원인을 제거하고 생산 사이클을 다시 시작한다. 특히 X-Rs 관리도는 원인발견에 정확성 때문에 공정 감시의 목적으로 사용한다.

목표에 맞는 공정 품질특성을 유지하기 위한 EPC는 장치 산업에서 매우 널리 사용되는 기법중의 하나이다. EPC는 공정의 품질특성을 목표치와 비교해서 목표에 맞는 품질특성이 유지되도록 정해진 주성분 투입을 보정하여 조절하는데 사용된다. EPC는 산출 변수가 자기상관 구조를 갖는 장치사업에서 주로 적용된다.

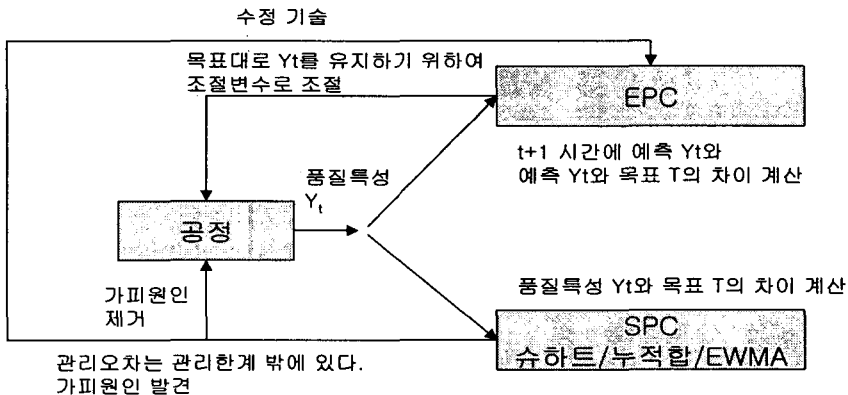
Box와 Luceno(1997)는 독립된 부품과 연속적 공정을 포함하는 혼성공정에 SPC와 EPC를 적용하는 사례를 나타냈다.[3]. 통합시스템에서, EPC는 예측 품질변동의 효과를 감소시키는 역할을 하며, SPC는 가피원인을 발견하기 위하여 사용한다. SPC/EPC통합 시스템은 EPC가 목표대로 시스템을 유지하고 SPC가 시스템관리로 가피원인을 제거하

는 목적이 달성된 후 공정개선의 효과를 나타낸다. 이러한 두 기술은 개별적으로 사용되어 변동이 감소되도록 하는 역할을 한다. 본 사례연구에서는 품질특성에 관한 ACF에서 첫 번째와 두 번째 차수(lag)가 관리 하한선을 벗어나기 때문에 MA(1) 모형에 따른다고 가정한다. 어떤 제품의 품질특성에 영향을 주는 각란이 상승하는 경향이 있고, MA(1) 모형을 따른다면 조절변수를 통하여 예측된 각란을 기초로 하여 품질특성이 목표에 맞게 조절한다. MA(1)모형에서 품질특성으로부터 최적의 모수값 θ 가 추정되면 λ 값이 결정된다. 그리고 엔지니어는 게인(gain) 값을 안다. 우리는 이러한 상황을 고려하여 EPC는 공정조절을 행하고 SPC기법이며 X-Rs 관리도가 가피원인을 발견하는 도구로써 통합모형에 사용하였다. 통합모형은 공정조절 전과 공정조절 후의 관리상태를 비교한다.

2. 두 모형의 통합을 위한 이론적 고찰

통합모형을 위한 분석에서는 SPC와 EPC의 관계, 기능이 다른 역할을 하는 SPC와 EPC의 비교, EPC의 적용을 위한 다양한 각란의 특성을 소개, 품질특성이 변화할 때 추세의 적용 방법, 평균이 이동하는 경우에 MMSE 콘트롤러의 적용의 타당성을 논술하였다. [그림 1]은 몽고메리(1994)에 의하여 SPC/EPC의 관계를 나타내었다[7].

EPC는 $t+1$ 시점에 예측값 Y_t 을 계산하고 예측된 Y_t 와 목표값과의 차이를 계산하여 그 차이만큼 목표대로 품질특성을 유지하기 위하여 조절변수로 공정을 조절하며, 이때 SPC는 공정조절된 품질특성이 관리한계를 벗어났다면, 가피원인을 제거하고 다음 공정조절로 연결된다.



[그림 1] SPC와 EPC의 관계

Bollinger와 Duffie(1988)는 결정적 관리기술의 다양한 형태를 설명하였다[4]. Messina[1992]는 기능이 전혀 다른 SPC와 EPC의 방법론의 비교를 <표 1>에 나타내었다.[6].

<표 1> SPC와 EPC의 방법론 비교

	SPC	EPC
철학	공정혼란의 감지와 제거를 통한 변동의 최소화	공정혼란을 중화시키기 위해 공정 조절을 통한 변동의 최소화
적용	변동이 없는 공정의 기대	연속적인 공정 흐름의 기대
진개 단계 목표 기능 비용	관리도 전략적 품질 특성 장애 발견 کم	공정조절모형 전술적 공정 변수 set point 감지 극히 적음
상관관계	없음	높거나 낮음
결과	공정 개선	최적의 공정

MacGregor[1988]는 두 영역을 연결하는 확률관리 이론을 제안하였다[5]. Astrom과 Wittenmark (1984)는 EPC를 적용함으로써 확률관리를 제시하였다[1].

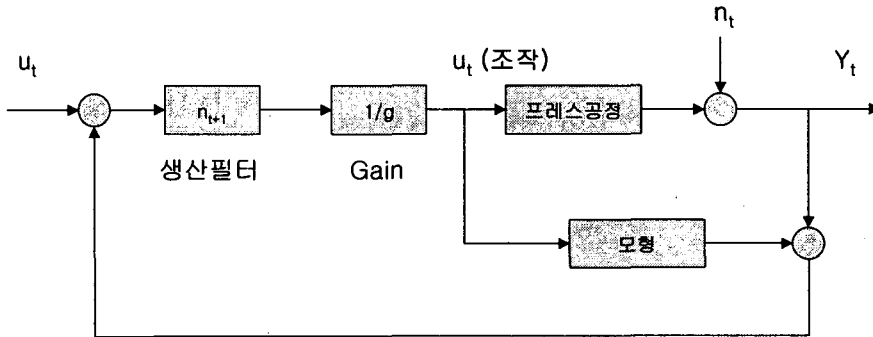
일반적으로 조절변수 u_t 는 공정의 입력 변수로써 산출 각란까지 이동하는 것이 EPC에서의 일반적인 경우이다. 목표 값에 맞도록 시스템을 유지하기 위하여 MMSE의 형태로 통합관리를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$u_t = -\left(\frac{\lambda}{g}\right) \sum_{j=1}^{\infty} e_j \dots\dots\dots (1)$$

이 식에서 g 는 게인(gain)이고, $e_j = Y_j - T \lambda$ 는 EWMA의 모수이다. 만약, 동적인 변화가 샘플링비율에 비해서 느린 경우에는 MMSE 컨트롤러가 바람직하지 않은 큰 변동을 투입 u_t 로 주어진다. 입력 변화의 변동에 따라 목표치와 품질특성과의 편차의 평균제곱오차를 최소화시키는 제약된 컨트롤러를 소개할 수 있다. 제약된 컨트롤러의 중요한 특징은 품질특성의 평균제곱오차를 매우 작게 하고, 큰 변동의 감소도 투입 변동에 따른다.

3. 사례연구(Case Study)

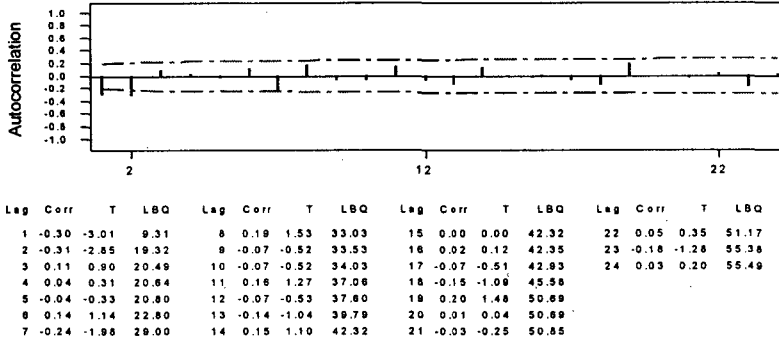
사례연구는 강판 프레스 작업을 위하여 프레스의 힘 조절에 의한 작업으로 SPC와 EPC가 통합된 사례를 살펴본다. 프레스에 의한 철판의 눌린 깊이가 일정해야 하는 작업이다. 하지만, 철판의 강도가 일정치 않아 프레스의 힘을 조절하여 제품의 눌린 깊이를 일정하게 하고자 하는 사례이다. 과거의 경험으로 보아 온도에 따라 철판의 강도가 차이가 난다. 철판은 온도에 영향을 많이 미치고, 프레스 작업에 역시 영향을 미쳐 제품의 품질특성에 변화를 가져온다. 기계의 특성상 프레스의 누르는 힘은 자동으로 조종이 가능하다. 일반적으로 야적된 철판은 기온에 따라 강도에 변화가 나타난다. 매 프레스 작업이 이루어진 후 제품의 깊이가 실시간 자동으로 측정되는 장치가 부착되어 있어 제품의 합격, 불합격 여부가 즉시 판결된다. 제품의 합격 기준은 제품의 깊이가 $10 \pm 2\text{cm}$ 이다. 본 사례 연구는 MacGregor의 깔때기 실험의 2번 규칙을 변형한 것을 이용하고 있다.



[그림 2] EPC에 의한 공정의 통합 모형

일정한 기간동안의 제품의 품질특성(평균 깊이)을 $X-R_s$ 차트를 사용하였다. 제품의 품질특성은 중요한 각란으로써 생각되는 온도에 따라서 결정되는 철판의 강도와 프레스의 누르는 힘(조절가능)의 크기에 의한 확률변수이다. 먼저 기존 작업의 100개의 품질특성치를 살펴보면 [그림 3]과 같은 시계열을 나타낸다. 일정한 기간동안의 제품의 품질특성(평균 깊이)을 $X-R_s$ 차트를 사용하였다. 제품의 품질특성은 중요한 각란으로써 생각되는 온도에 따라서 결정되는 철판의 강도와 프레스의 누르는 힘(조절가능)의 크기에 의한 확률변수이다. 먼저 기존 작업의 100개의 품질특성치를 살펴보면 [그림 3]과 같은 시계열을 나타낸다.

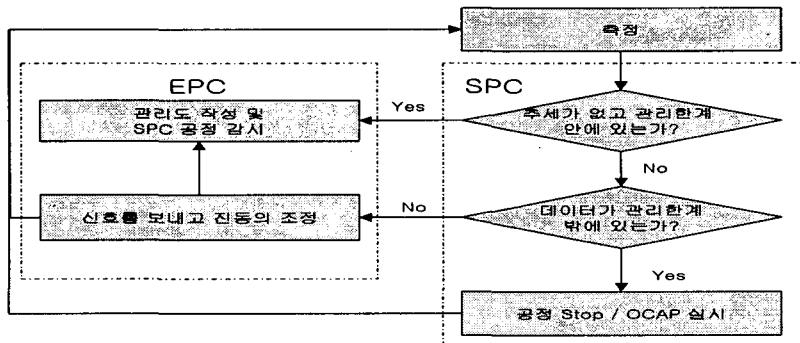
차분된 각란 특성의 자기상관 함수



[그림 3] 차분된 강판 품질특성치의 자기상관 함수

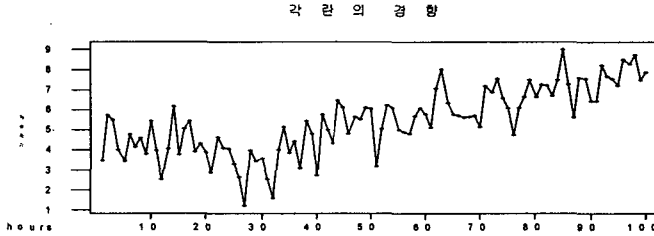
자기상관 함수를 통해서 이 자료는 MA(1)모형을 따른다고 분석되었다. 모수 θ 가 0.3인 MA(1) 모형을 따른다. 즉 $\lambda=0.7$ 이 MMSE가 최소화되는 경우이다. 품질특성은 프레스의 강도의 폭에 따라서 조정될 수 있다. 즉 철판이 강하면 강하게, 약하면 약하게 힘을 주면 정해진 깊이의 프레스 작업을 할 수 있다. 이 때의 gain은 프레스를 1단위 올리면, 깊이가 0.3cm의 변화가 있다.

본 연구에서 제안한 SPC/EPC의 모형을 그림으로 나타내면 [그림 4]과 같다. 이통합 모형은데이터가 관리상태에 있다면 MMSE 컨트롤러에 의하여 공정조정 된다. 이때 공정조절은 개인과 MA(1) 모수의 추정값에 영향을 받으며는다. 만약 데이터가 관리상태가 아니라면, SPC는 공정을 멈추고 관리싸이클을 적용하여 가피원인을 제거하여 관리상태가되게한다. 이때, 데이터가 관리상태라면 EPC는 t+1 시점의 품질특성이 t시점의 품질특성이 되어 공정조정 된다.



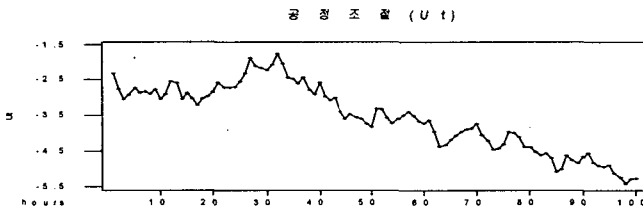
[그림 4] 프레스 작업 통제를 위한 통합 SPC/EPC 모형

위에서 제안한 SPC/EPC 모형을 이용하여 본 각란의 경향은 그림[5]와 같다., 각란은 온도가 상승할수록 프레스의 누르는 힘의 크기는 품질특성을 일정하게 해주기 위해서 점점 작아진다.



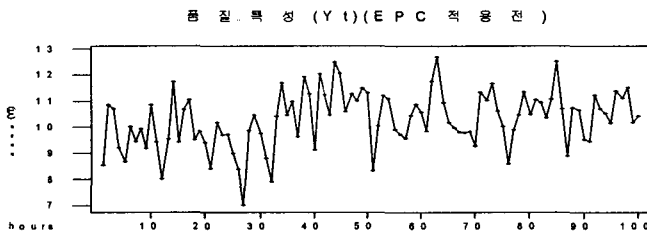
[그림5] 각란의 경향

위에서 제안한 SPC/EPC 모형을 이용하여 본 사례에 적용하여 보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다. 먼저 EPC에서의 조절변수 U_t 의 변화를 [그림 6]에 도시하였다. 각란인 온도가 상승할수록 프레스의 누르는 힘의 크기는 품질특성을 일정해 주기 위해서 점점 작아지는 것을 살펴볼 수 있다.



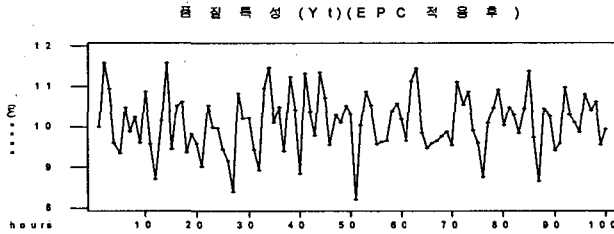
[그림6] 공정조절(U_t)의 변화

그림[7]과 같이 EPC적용 전에는 규격을 벗어나는 품질특성치가 몇몇 존재한다.



[그림 7] SPC/EPC 적용전의 품질특성치의 변화

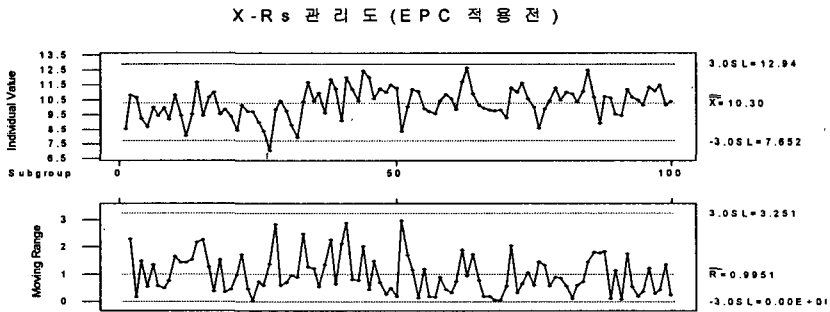
[그림8]과 같이 적용후에는 모든 품질특성치가 규격안에 포함되는 것을 볼 수 있다.



[그림8] SPC/EPC 적용후 품질특성치의 변화

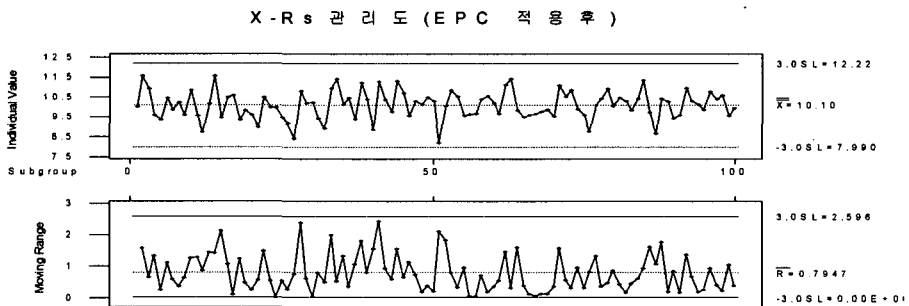
EPC 적용전과 적용후의 X-Rs 관리도는 적용후가 훨씬 개선된 성과 분산을 갖는다.

[그림 9]는 적용전의 품질특성의 X-Rs 관리도이다.



[그림 9] 적용전의 품질특성의 X-Rs 관리도

[그림10]은 적용후의 품질특성의 X-Rs 관리도이다.



[그림10] 적용후의 품질특성의 X-Rs 관리도

5. 결론

SPC와 EPC 통합모형시스템에서는 품질특성의 추세가 어떤 패턴에 인가에 따라서 변동을 감소시키는 전략이 확립된다. 이 적용사례는 각란을 추정하고 차분하여 차분된각란이 MA(1) 모형에 따르는 압출철관 공정산업에서, EPC의 적용전과 적용 후를 비교하였다. 변동의 감소는 EPC의 적용후가 탁월하게 나타났다. 여기서 SPC기법으로는 X-Rs 관리도를 사용하여 변동의 감소를 나타내었고, EPC에서는 MMSE 컨트롤러에 의한 공정조절결과, 각란의 경향을 조사하여 공정조절의 변화를 X-Rs 관리도로만 나타내었다. 결국 SPC와 EPC 통합모형시스템은 X-Rs 관리도 에서 EPC의 적용후가 적용전 공정이 서로 비교되어 변동의 감소가 탁월함을 보인다.

참고문헌

- [1] ASTROM, K.J and WITTENMARK, B(1984). Computer Con-trolled Systems: Theory and Design. Prentice-Hall, Engle-wood Cliffs, NJ
- [2] Box, G.E.P:JENKINS, G.M: and REINSEL, G.M(1994). Time Series Analysis: Forecasting and Control, 3rd cd. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [3] BOX, G.E.P. and LUCENO, A. (1997). Statistical Control by Monitoring and Feedback Adjustment. John Wiley&Sons, New York, NY.
- [4] BOLLINGER, G.J. and DUFFIE, A.N.(1988). Computer Control of Machines and Processes. Addison-Wesly Publishing, Reading, MA.
- [5] MACGREGOR, J.F.(1988). "On-Line Statistical Process Con-trol". Chemical Engineering Progress 84, pp.21-31.
- [6] MESSINA, W.S.(1992). "Strategiesfor the Integration of Statistical and Engineering Process Control". Ph.D.Disserta-tion, Arizona State University, Tempe, AZ
- [7] MONTGOMERY, D.C: KEATS, J.B: RUNGER, G.C: and MESSINA, W.S.(1994). "Integrating Statistical Process Con-trol and Engineering Process Control". Journal of Quality Technology 26, pp. 79-87.