

단일 Lot 생산시스템에서의 Human Factor가 품질에 미치는 영향 分析

The Effect Analysis of Quality Considering Human Factor in a Single Lot Production System

윤 상 원*
윤 석 환**
신 용 백***

ABSTRACT

This paper aims to analyse and appraise the effect of human performance to the variation of quality through constructing the dynamic recursive control model considering the human factor in a single production system

The model studied in this paper has a great advance from the point of combining three technologies(quality control, automatic control theory, human engineering) and can also be expanded in several applications.

1. 서론

제품의 품질변동 원인이 생산의 4요소인 작업자, 기계, 재료, 작업방법에 의해 큰 영향을 받는다고 할 때, 이들 생산요소를 적절히 조절하여 제품의 품질변동을 최소화함으로써 생산시스템의 효율향상 및 생산성 향상이 가능하게 된다. 따라서, 품질을 향상시킨다는 관점에서 생산 4요소에 대한 분석 및 응용이 주요한 연구의 대상이 되어 왔다.

이러한 관점의 연구로서는, 품질변동의 원인을 시간과 생산량의 함수로서 파악하는 모형 [11][12][17], 품질변동의 원인을 기계상태 변동으로부터 파악해 보려는 모형 [14][15], 시계열 분석모형을 통하여 품질변동의 원인을 파악해 보려는 모형 [13][16], 표시장치 (display)의 측정치에서 발생하는 오차(error)를 최적제어이론으로 제어해 보려는 모형 연구 [7][8]등을 들 수 있다.

이들을 종합하여 분석하면, 생산 4요소중 비교적 덜 표준화 되었다고 판단되며, 변동성이 높을 것으로 판단되는 Human Factor가 품질변동에 미치는 영향 분석에 대한 연구는 소홀했었다고 할 수 있다.

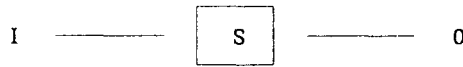
이에 본 논문은, 단일 로트 생산시스템하에서 Human Factor를 고려하는 동적 귀환 제어 모형의 구축을 통하여 인간수행도(human performance)가 품질변동에 미치는 영향을 평가 및 분석하는 데에 그 목적이 있다.

본 연구에서는 단일 로트 생산 환경하에서의 시스템을 투입상태, 기계상태, 산출상태로 분류하였다. 투입상태에서는 작업자 수행도, 재료상태, 작업 방법을 변수로 고려하였으며, 기계상태에서는 생산량 증가에 따른 성능 저하를, 산출상태에서는 로트 합격률을 각각 변수로 고려하는 품질모형을 설정하였으며, 특히 기계상태를 추정하기 위한 알고리즘은 최적 제어이론(Kalman Filter)를 적용하였다. 또한, 구축된 알고리즘을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였으며, 작업자 수행도 변화에 따른 민감도 분석을 수행하였다.

* 아주대학교 대학원 산업공학과
** 한국전자통신연구소 선임연구원
*** 아주대학교 산업공학과 교수

2. 단계별 모형설계

제품품질이 생산 4M 즉, 작업자(Man), 기계(Machine), 재료(Material), 작업방법(Method)에 의하여 결정된다고 할때, 투입(Input)상태를 작업자/재료/작업방법으로, 기계상태를 기계로, 산출상태를 품질상태(불량, 합격률등)로서 파악될 수 있다[1][2]. 이러한 4M의 요소를 단일 lot생산시스템 환경하에서 각 상태를 표현해 보면 <그림1>과 같다.



- * I : 투입(Input)상태 (I_k : lot k에 대한 투입(Input) 품질상태)
- * S : 기계 상태 (S_k : lot k를 생산하고 있는 동안의 기계품질상태)
- * O : 산출(Output)상태 (O_k : lot k에 대한 산출(Output) 품질상태)

<그림1> 단일 lot 생산시스템의 상태분류

<그림1>에서 I의 어떤요소를 고려하느냐에 따라 시스템의 상태는 여러가지형태로 모형화 할 수 있다. 특히 본 연구에서는 I중에 작업자를 중요한 투입요소로 고려했을때, 전체 시스템의 영향도를 평가하고자 하는 것이다. 본 모형에서 lot k의 $O_k (k \geq 1)$ 는 I_k 및 S_k 에 따라 변화하는 종속변수로 취급할 수 있고, 결국 S_k 를 중심으로한 이산시간 동적 시스템으로 평가 할 수 있다.

2.1 투입품질상태 모형

투입상태에서는 보통 재료, 작업방법등을 중심으로한 투입이 기계상태 및 산출상태에 영향을 끼친다고 할때 투입상태 I_k 는

$$I_k = f_0 (M'_k, M_k), \quad k \geq 0 \tag{1}$$

함수로서 표시할 수 있다. 여기서 M'_k 를 재료의 상태, M_k 를 작업방법의 상태를 각각 나타낸다고 할때 그 각각은 상태의 불확실성을 나타내는 i. i. d의 랜덤변수로 가정할 수 있으며,

$$M'_k = \bar{M}' + M'_k, \quad M_k = \bar{M} + M_k \tag{2}$$

(평균:0, 분산: $\sigma_{M'_k}^2, \sigma_{M_k}^2$)

로 표시할 수 있다.

한편 작업자가 기계를 조작(operating)한다고 할때, 작업자의 조작상태를 투입요소로 고려할 수 있다. 즉 누락, 기억, 인식, 결정반응, 실행 오차(error)등에 의한 Human Performance가 기계상태에 영향을 끼친다고 가정한다면[5][8][10], 이러한 요인들은 투입요소로 파악된다.

2.2 기계 품질상태 모형

기계는 생산중가 등으로 인해 성능저하가 되고, 기계상태를 성능저하의 효과로 모형화 된다고 할때[1][9]

$$S_{k+1} = f_1(S_k, N_{k+1}, TN_k, \alpha_k), \quad k \geq 0 \quad (3)$$

단, N_{k+1} : lot k+1에서 생산된 items수

TN_k : lot k까지 생산된 items의 총수

S_k : k시점에서의 기계상태

의 식으로 나타낼 수 있다. 여기서 α_k 를 기계성능저하 상태의 불확실성을 나타내는 i.i.d의 랜덤변수라 가정했을때, S_{k+1} 또한 랜덤변수가 된다.

또한 N_k 가 일정하다면

$$S_{k+1} = f_1(S_k, \alpha_k) \quad (4)$$

의 기계상태 모형식이 된다. 특히 기계상태모형이 선형모형이라고 가정했을때

$$S_k = \alpha_k S_{k-1}, \quad k \geq 1 \quad (5)$$

의 식이 성립되고, 특히 기계 성능저하상태 S_k 는 (5)식에서

$S_k = \prod_{i=0}^k \alpha_i$ 가 성립되어, 생산된 lot수에 따라 기계 성능저하 상태에 영향을 끼친다고 할 수 있다.

2.3 산출 품질 상태모형

O_k 를 S_k 및 I_k 의 함수로 표현되는 종속변수라 했을때,

$$O_k = f_2(S_k, I_k) \quad (6)$$

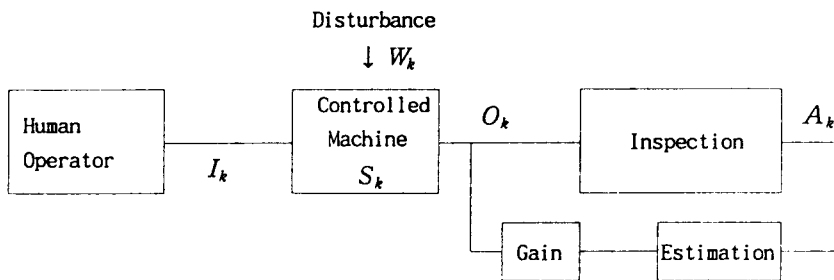
의 산출 품질 상태 모형식이 된다. 이것을 선형모형으로 표현하면

$$O_k = S_k I_k, \quad k \geq 1 \quad (7)$$

이 되고, $S_k = \prod_{i=1}^k \alpha_i$ 에서 $O_k = [\prod_{i=1}^k \alpha_i] I_k$ 가 성립되어 생산된 lot수가 증가함에 따라 평균 산출 품질 상태는 감소하게 된다.

3. 단일 lot 생산 시스템하의 Feedback모형 설정

Feedback 모형이, 산출에서 얻어진 추가정보에 의해 귀환(recursive)시스템 이라고 했을 때[3][14] 본 연구의 모형은 산출(output)품질을 샘플링 검사를 하고, 검사결과(품질오류)를 연속적으로 다음 추정단계에 Feedback시킴으로써 조작자(Operator)상태를 고려한 기계상태를 반복적으로 추정하는 모형이다. 이와 같은 모형에 최적제어이론(Kalman Filter)을 응용한 블럭 다이어그램을 <그림2>에 제시했다.



<그림2> Feedback 블럭 다이어그램

<그림2>에서 샘플링 검사는 각 items이 합격, 불합격으로 분류되는 완벽한 검사일때

$$A_k = \frac{n_k}{n} \quad (n: \text{총 items의 수}, n_k: \text{샘플중 양품수}, 0 \leq n_k \leq n) \text{ 은 합격율로 표시된다.}$$

이것은 결국 검사를 하게 됨으로서

$$\begin{aligned} A_k &= E[A_k] + V_k \\ A_k &= O_k + V_k \end{aligned} \tag{8}$$

(단, V_k 은 평균이 0, 분산이 σ_v^2 이 된다)

의 식이 성립하게 된다. (8)식에 (7)식을 대입하면

$$A_k = I_k S_k + V_k \tag{9}$$

로 나타내지며, (9)식에서 lot k+1번째 시간 update추정은 A_1, A_2, \dots, A_k 의해 추가정보가 주어지며, 이런 정보는 또한 S_k 의 필터(Filter)추정치를 얻기 위해 사용된다.

3.1 물리적 요소를 고려한 모형

<그림2>에서 자재, 작업방법등의 물리적 요소를 고려한 기계상태 추정 및 측정상태 모형을 유도하는 식을 구해보면 α_k, I_k 를 랜덤변수로 볼때 α_k, I_k 는 평균 0, 분산 σ_a^2, σ_i^2 를 갖는

$$\alpha_k = \bar{\alpha} + \alpha_k \tag{10}$$

$$I_k = \bar{I} + \Pi_k \tag{11}$$

로 쓸 수 있다.

(10), (11)식을 (5), (9)식에 대입 정리하면

$$S_{k+1} = (\bar{\alpha} + \alpha_k)S_k + W_k \quad \text{: 상태방정식} \tag{12}$$

$$A_k = (\bar{I} + \Pi_k)S_k + V_k \quad \text{: 측정방정식} \tag{13}$$

이 된다. 여기서 W_k 는 기계상태에 미치는 입력상태 이외의 요소(환경적 요인)를 잡음(Noise=disturbance)으로 잡고 평균 0, 분산 σ_w^2 을 갖는다.

3.2 Human Factor를 고려한 모형

물리적, 환경적 요소를 하나의 잡음(Noise = disturbance)으로 처리했을 경우, Human Factor가 주요한 투입요소로 고려된다. Human Factor는 조작자(operator)의 상태, 즉 얼마나 오차(error)없이 기계를 가동하느냐로 파악될때 인간 수행도(Human Performance)가 주요한 투입요인이 될 수 있다. 휴먼 에러는 행동결과에 따라 분류하는 것으로[6], 생략(omission), 실행(commission), 과잉행동(extraneous), 순서(sequential), 시간(timing)에러로 구분할 수 있는데, 이러한 인간 수행도가 기계 품질상태 및 전체 품질에 미치는 영향을 최적제어이론(Kalman Filter)을 적용해 분석하게 된다. <그림2>의 모형도에서 I_k 를 Human Factor로서 인간 수행도의 단일변수로 취급할 수 있다고 할때 (11), (12)식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$S_{k+1} = (\bar{\alpha} + \alpha_k)S_k + W_k \quad \text{: 상태방정식} \tag{14}$$

$$A_k = I_k S_k + V_k \quad \text{: 측정방정식} \tag{15}$$

(15)식에서 I_k 를 (13)식과 같이 표현할 수 있겠지만 전체모형에 미치는 영향이 일정한 값, 즉 I_k 로서 처리한 경우와 큰 차이가 발생되지 않으리라 예상되어 설정한 식이 된다.

여기서 S_k 는 평균을 \bar{S}_k 라 할때 (5)식에서

$$\bar{S}_{k+1} = \bar{\alpha} \bar{S}_k \quad (\text{단, } \bar{S}_0 = 1) \tag{16}$$

이 성립되고, W_k, V_k 는 평균이 0, 분산이 σ_w^2, σ_v^2 을 갖는 랜덤변수가 된다.

결국, 식 (14), (15)로 표현되는 Feedback 모형은, 이산형 최적 궤환추정(Discrete optimal recursive estimator) 알고리즘(Kalman Filter)[3][4]을 이용하여 최적추정 방정식을 구하게 된다. 알고리즘을 이용하여 구하면 최적추정 방정식은 식 (17) ~ (21)로 주어진다..

<이산시간 칼만 필터 알고리즘>

(시간 update 방정식)

• 에러 공분산(Error Covariance) :

$$P(k|k-1) = (\bar{\alpha} + \alpha_k)^2 P(k-1|k-1) + \sigma_w^2 \tag{17}$$

• 추정(Estimate) : $\hat{S}(k|k-1) = (\bar{\alpha} + \alpha_k) \hat{S}(k-1|k-1)$ (18)

(측정 Update 방정식)

• 에러 공분산(Error covariance) :

$$P(k|k) = P(k|k-1) - k(k|k)P(k|k-1) = (1 - k(k|k))P(k|k-1) \tag{19}$$

· 칼만 게인(Kalman Gain) :

$$K(k|k) = P(k|k-1) [P(k|k-1) + \sigma_v^2]^{-1} \quad (20)$$

· 추정(Estimate) :

$$\hat{S}(k|k) = \hat{S}(k|k-1) + K(k|k) [P(k) - \hat{S}(k|k-1)] \quad (21)$$

4. 시뮬레이션

Human Factor를 고려한, 기 설정된 Feedback 모형을 분석하기 위해 30개의 데이터에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 실시 했으며, 각 변수의 임의의 값으로

$P_0=0.0025$, $\bar{V}=\bar{W}=0$, $\sigma_0^2=0.005$, $\sigma_w^2=0.005, 0.01 \sim 0.51$ 까지 0.01씩 감소시키면서 민감도 분석을 실시했다. 또한 \bar{a} 의 값은 기계성능저하 상태가 지수분포를 따르고, 매일 일정량의 로트를 생산하며 시간증가에 따라 기계성능저하 상태가 감소될때, 즉 10년후의 기계성능이 약 0.30이 됐을때, 설비 수명이 끝나, 폐기 및 생산보전이 요구된다고 가정했다.

a_k 는 \bar{a} 값에 $\pm 2\%$ 의 여유값을 부여했으며, 특히 30개의 데이터는 기계가 3년을 사용한후 그 다음시점부터 30일간의 데이터에 해당하고 시뮬레이션 분석을 위한 기계상태 초기값으로 $S_0=0.8985$ 로 설정하였다.

I_k 의 변화에 따른 시뮬레이션 결과의 주요결과값은 <표1> ~ <표4>와 같다.

<표1> 분석 결과 ($I_k=0.90$ 일때)

NO	$A(k)$	$\hat{A}(k)$	Kalman Gain	$P(k k-1)$	$P(k k)$	$\hat{S}(k k)$
1	0.81773	0.74174	0.58553801	0.00706	0.00292769	0.86086
2	0.81433	0.70477	0.59667101	0.00740	0.00296336	0.84428
3	0.81682	0.69544	0.59863158	0.00746	0.00299319	0.83892
4	0.80451	0.67034	0.59650384	0.00739	0.00298257	0.82994
5	0.80417	0.66261	0.59616129	0.00738	0.00298081	0.82596
6	0.79573	0.64566	0.59448866	0.00733	0.00297244	0.81948
7	0.81524	0.67239	0.59803614	0.00744	0.00299018	0.82773
8	0.80542	0.66291	0.59660377	0.00739	0.00298302	0.82577
9	0.81004	0.66894	0.59730932	0.00742	0.00298655	0.82751
10	0.80265	0.65817	0.59597261	0.00738	0.00297986	0.82411
11	0.79106	0.63668	0.59356667	0.00730	0.00296783	0.81599
12	0.82011	0.67756	0.59885604	0.00746	0.00299428	0.82893
13	0.79324	0.64394	0.59435557	0.00733	0.00297178	0.81934
14	0.79002	0.63133	0.59316020	0.00729	0.00296580	0.81335
15	0.79818	0.63972	0.59457338	0.00733	0.00297287	0.81554
16	0.81645	0.67116	0.59828181	0.00745	0.00299141	0.82676
17	0.81655	0.68055	0.59879295	0.00746	0.00299396	0.83154
18	0.80747	0.66935	0.59709863	0.00741	0.00298549	0.82852
19	0.81466	0.67885	0.59826983	0.00745	0.00299135	0.83121
20	0.81969	0.68948	0.59940032	0.00748	0.00299700	0.83508
21	0.80812	0.67328	0.59730403	0.00742	0.00298652	0.83037
22	0.80659	0.66595	0.59673348	0.00740	0.00298367	0.82751
23	0.82037	0.69556	0.59932866	0.00748	0.00299664	0.83390
24	0.82021	0.69319	0.59922690	0.00748	0.00299664	0.83390
25	0.80460	0.66080	0.59620916	0.00738	0.00298113	0.82679
26	0.82356	0.69072	0.59987767	0.00750	0.00299939	0.83452
27	0.79069	0.64411	0.59399174	0.00732	0.00296996	0.82022
28	0.80995	0.66429	0.59694786	0.00741	0.00298474	0.82510
29	0.79141	0.63801	0.59375874	0.00731	0.00296879	0.81663
30	0.80033	0.64578	0.59506522	0.00735	0.00297533	0.81817

<표2> 분석결과 ($I_k=0.78$ 일때)

NO	$A(k)$	$\hat{A}(k)$	Kalman Gain	$P(k k-1)$	$P(k k)$	$\hat{S}(k k)$
1	0.69370	0.71067	0.58254685	0.00698	0.00291273	0.78920
2	0.69399	0.62474	0.59368655	0.00731	0.00296843	0.74328
3	0.70190	0.60190	0.59689699	0.00740	0.00298448	0.72856
4	0.69417	0.57053	0.59559431	0.00736	0.00297797	0.71815
5	0.68530	0.55435	0.59345466	0.00730	0.00296727	0.70867
6	0.68795	0.55128	0.59376917	0.00731	0.00296885	0.70619
7	0.68728	0.55177	0.59306957	0.00747	0.00299535	0.71845
8	0.71169	0.58777	0.59906957	0.00747	0.00299535	0.71845
9	0.71368	0.60147	0.60024398	0.00751	0.00300122	0.72472
10	0.69028	0.56758	0.59515738	0.00735	0.00297579	0.71438
11	0.68684	0.55393	0.59374126	0.00731	0.00296871	0.70738
12	0.69330	0.55933	0.59499042	0.00735	0.00297495	0.70899
13	0.68739	0.55063	0.59384137	0.00731	0.00296921	0.70603
14	0.70956	0.58426	0.59862288	0.00746	0.00299311	0.71727
15	0.70893	0.59251	0.59911783	0.00747	0.00299559	0.72166
16	0.69779	0.57755	0.59669022	0.00740	0.00298345	0.71734
17	0.70848	0.59182	0.59876126	0.00746	0.00299381	0.72142
18	0.68575	0.55760	0.59395827	0.00731	0.00296979	0.71036
19	0.69287	0.56052	0.59492390	0.00734	0.00297462	0.70974
20	0.69761	0.56773	0.59610342	0.00738	0.00298052	0.71220
21	0.69831	0.57083	0.59641223	0.00739	0.00298206	0.71364
22	0.69269	0.56281	0.59520061	0.00735	0.00297600	0.71105
23	0.68973	0.55600	0.59438791	0.00733	0.00297194	0.70825
24	0.71398	0.59343	0.59668344	0.00749	0.00299842	0.72060
25	0.69959	0.57961	0.59715707	0.00741	0.00298879	0.71789
26	0.69687	0.57303	0.59623032	0.00738	0.00298515	0.71522
27	0.70559	0.58528	0.59805533	0.00744	0.00299028	0.71895
28	0.71120	0.59771	0.59955143	0.00749	0.00299776	0.72357
29	0.69759	0.57875	0.59670108	0.00740	0.00298351	0.71803
30	0.68353	0.55141	0.59320310	0.00729	0.00296602	0.70760
	0.71061	0.58730	0.59877262	0.00746	0.00299386	0.71849

<표3> 분석결과 ($I_k=0.66$ 일때)

NO	$A(k)$	$\hat{A}(k)$	Kalman Gain	$P(k k-1)$	$P(k k)$	$\hat{S}(k k)$
1	0.56844	0.70880	0.58236489	0.00697	0.00291182	0.71629
2	0.56411	0.55649	0.59224313	0.00726	0.00296122	0.63587
3	0.57081	0.50580	0.59532246	0.00736	0.00297661	0.60582
4	0.57600	0.49071	0.59713274	0.00741	0.00298566	0.59616
5	0.58467	0.49754	0.59973621	0.00749	0.00299868	0.59688
6	0.56640	0.46749	0.59509763	0.00735	0.00297549	0.58710
7	0.56866	0.46351	0.59511204	0.00735	0.00297556	0.58423
8	0.56895	0.46171	0.59519266	0.00735	0.00297596	0.58320
9	0.57543	0.47146	0.59696192	0.00741	0.00298481	0.58643
10	0.57943	0.48069	0.59828378	0.00745	0.00299142	0.59001
11	0.58099	0.48623	0.59888451	0.00747	0.00299442	0.59236
12	0.57034	0.47043	0.59605886	0.00738	0.00298029	0.58744
13	0.57734	0.47804	0.59759468	0.00743	0.00298797	0.58927
14	0.57186	0.47046	0.59630418	0.00739	0.00298152	0.58699
15	0.58151	0.48460	0.59876360	0.00746	0.00299382	0.59137
16	0.57326	0.47447	0.59683928	0.00740	0.00298420	0.58867
17	0.58230	0.48730	0.59904874	0.00747	0.00299524	0.59250
18	0.57711	0.48177	0.59792537	0.00744	0.00298963	0.59128
19	0.56826	0.46615	0.59536860	0.00736	0.00297684	0.58579
20	0.58319	0.48641	0.59909656	0.00747	0.00299548	0.59177
21	0.57709	0.48116	0.59792689	0.00744	0.00298963	0.59097
22	0.57064	0.46981	0.59601565	0.00738	0.00298008	0.58701
23	0.58309	0.48726	0.59915513	0.00747	0.00299578	0.59223
24	0.56778	0.46611	0.59539727	0.00736	0.00297699	0.58593
25	0.58217	0.48482	0.59882073	0.00746	0.00299410	0.59128
26	0.58367	0.49178	0.59968801	0.00749	0.00299844	0.59434
27	0.57075	0.47268	0.59627450	0.00738	0.00298137	0.58851
28	0.58121	0.48535	0.59867617	0.00746	0.00299338	0.59183
29	0.57193	0.47264	0.59646535	0.00739	0.00298233	0.59111
30	0.58077	0.48429	0.59858132	0.00746	0.00299291	0.59143

<표4> 분석결과 ($I_k=0.51$ 일때

NO	$A(k)$	$\hat{A}(k)$	Kalman Gain	$P(k k-1)$	$P(k k)$	$\hat{S}(k k)$
1	0.45738	0.72267	0.58370709	0.00701	0.00291854	0.65095
2	0.46290	0.53627	0.59691505	0.00740	0.00298458	0.54704
3	0.45955	0.44417	0.59753126	0.00742	0.00298766	0.50212
4	0.45311	0.39634	0.59541184	0.00736	0.00297706	0.47990
5	0.46711	0.40257	0.59991483	0.00750	0.00299957	0.47826
6	0.45524	0.38107	0.59644973	0.00739	0.00298225	0.47115
7	0.44827	0.36400	0.59362891	0.00730	0.00296814	0.46415
8	0.45250	0.36538	0.59470048	0.00734	0.00297350	0.46362
9	0.45342	0.36646	0.59515187	0.00735	0.00297576	0.46394
10	0.45241	0.36508	0.59486840	0.00734	0.00297434	0.46350
11	0.45906	0.37554	0.59709488	0.00741	0.00298547	0.46708
12	0.46263	0.38434	0.59860774	0.00746	0.00299304	0.47056
13	0.45408	0.37303	0.59588425	0.00737	0.00297942	0.46726
14	0.45077	0.36503	0.59440400	0.00733	0.00297202	0.46396
15	0.45513	0.36950	0.59569597	0.00737	0.00297848	0.46505
16	0.46733	0.39049	0.60002965	0.00750	0.00300015	0.47225
17	0.45797	0.38081	0.59739955	0.00742	0.00298700	0.47017
18	0.44780	0.36248	0.59359009	0.00730	0.00296795	0.46347
19	0.44997	0.36078	0.59383720	0.00731	0.00296919	0.46188
20	0.45352	0.36524	0.59507402	0.00735	0.00297573	0.46326
21	0.46258	0.38112	0.59832342	0.00745	0.00299162	0.46893
22	0.45424	0.37169	0.59590008	0.00737	0.00297950	0.46667
23	0.45349	0.36897	0.59533065	0.00736	0.00297665	0.46527
24	0.44832	0.35953	0.59350193	0.00730	0.00296751	0.46169
25	0.44889	0.35928	0.59380129	0.00731	0.00296901	0.46109
26	0.46321	0.38036	0.59836703	0.00745	0.00299184	0.46836
27	0.44910	0.36318	0.59415552	0.00732	0.00297078	0.46248
28	0.45874	0.37499	0.5988990	0.00740	0.00298445	0.46688
29	0.46228	0.38360	0.59846186	0.00745	0.00299231	0.47029
30	0.45877	0.38054	0.59746540	0.00742	0.00298733	0.46978

위 분석결과, 본 연구의 모형에서는 칼만필터(Kalman Filter)값이 인간수행도가 0.9일때 0.5965, 0.78일때 0.5962, 0.66일때 0.5972, 0.51일때 0.5960의 평균치를 가지면서 에러를 보정해주고 있다. 또한 본 모형에서의 에러 공분산은 시간 update 와 측정 update 각각에 관련하여 인간수행도별로 시뮬레이션한 결과 $P(k|k-1)$ 은 0.0073과 0.0074의, 그리고 $P(k|k)$ 값은 0.00297과 0.00298의 평균치값이 나타났다.

기계성능상태 추정치는 인간 수행도가 0.9일때 평균 0.8276수준을 유지하고 있지만, 인간 수행도가 떨어짐에 따라 기계성능상태가 떨어지고 있음을 알 수 있다. 특히 인간수행도가 0.51일때 기계성능상태가 평균 0.4771 수준을 유지하고 있어 0.9일때 보다 평균 0.3505 수준의 차이(level difference)를 보여주고 있다. 결과적으로 인간 수행도가 크게 저하되었을때 기계성능상태는 기계상태보다 인간 수행도에 더 큰 영향을 받고 있는 것으로 나타났다.

따라서 투입요소로서 주로 작업방법, 작업자, 재료 등에 의해 품질에 주요한 영향을 끼친다고 했을때, 기존의 생산현장의 주된 개선방향이 작업방법 및 자재 개선을 통한 품질의 향상에 초점을 두었다는 관점에서 작업자에 의한 품질향상 측면은 반드시 고려되어야할 요소가 된다. 본 연구의 분석결과에서 나타난 바와같이 작업방법, 재료의 품질수준이 어느정도 표준화가 되어 일정하다고 가정했을때 품질변동 요인에 있어서 작업자에 의한 영향도가 큰 요인으로 작용한다고 할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 품질변동의 원인으로 Human Factor를 고려한 동적제어 모형을 제시하고, Human Factor중에 인간 수행도(Human Performance)가 품질에 미치는 영향도를 시뮬레이션을 통해 평가 및 분석을 실시했다. 그 결과 인간 수행도가 0.9인 경우와 0.51일때를 비교했을때 기계품질상태인 기계성능 추정치가 0.3505의 수준차이를 보이고 있으므로, 이러한 의미는 인간 수행도가 다른 투입요소보다 품질에 중요한 요인으로 작용하고 있음을 보여주는 것으로 결국 작업자가 중요한 투입요소임을 입증하였다.

모형설정을 위해 단일 로트 생산시스템 환경을 가정했으며, 품질변동에 대해서는 샘플링 검사를 적용시켰다. 결국 본 연구는 제어이론, 품질관리, 인간공학을 결합한 동적 시스템모형 구축이라는 차원에서 그 효용성을 찾을 수 있다. 향후 연구과제로는 확장성 측면에서 인간 공학 연구분야중 동기부여, 작업만족 등의 이론을 적용한 품질영향도 평가 및 분석, 다단계 로트 생산 시스템하에서의 모형구축, 로트 크기변화에 따른 모형설계, 인간(작업자)을 독립된 시스템으로 분리한 모형설계, 다수작업자와 기계가 결합된 인간-기계 시스템 모형설계 등에 관한 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

REFERENCES

- [1] 윤상원, 윤석환, 신용백(1994), "기계상태 Monitoring을 통한 동적 Recursive 제어모형 구축에 관한 연구," *공업경영학회*, Vol. 17, No. 30, pp. 107~116.
- [2] 牧修市(1992), TPC入門, 日本総合技術 セ ンター.
- [3] Frank L. Lewis(1986), *Optimal Estimation*, John Wiley & Sons.
- [4] S. M. Bozic(1979), *Digital and Kalman filtering*, Edward Arnold.
- [5] Sutton(1990), Robert, *Modeling Human Operators in Control System Disign*, John Wiley & Sons Inc., New York.
- [6] Salvendy, G. (1987), *Handbook of Human Factors*, John Wiley & Sons.
- [7] Baron, S. (1973), "Application of the optimal control model for the human operator to Reliability assessment," *IEEE Trans. Reliability*, R-22(3), pp. 157~164.
- [8] Baron, S. (1977), and W. H. Levison, "Display analysis with the optimal control model of the human operator," *Human Factors*, 19, p. 437.
- [9] D. N. P. Murthy, and I. Djameludin(1990), "Quality Control in a single production system : open and closed loop policies," *INT. J. Prod. Res*, 28, pp. 2219~2242.
- [10] Drury, C. G. (1978), "Integrating Human Factors Models into Statistical Quality Control," *Human Factors*, 20, 5, pp. 561~572.
- [11] Fine, C. (1986), "Quality Improvement and Learning in Production Systems," *Management Science*, 32, pp. 1301~1315.
- [12] Girshich, M., and Rubin, H. (1952), "A Bayes Approach to a Quality Control Model," *Annals of Mathematical Statistics*, 23, pp. 114~125.
- [13] Gracia-Diaz, A., Foster, J. W., and Bonyuet, M. (1984), "Dynamic programming analysis of special multistage Inspection Systems," *IIE Transactions*, 16, pp. 115~126.
- [14] John R. E., Murali, K., and Tep S. (1989), "Feedback approach to Quality Monitoring of a Manufacturing Process," *Computers Ind. Engineering*, 17, pp. 303~310.
- [15] Rahim, M. A., and Banerjee, P. K. (1988), "Optimal production run for a process with random linear drift - omega," *The International of Management Science*, 16, pp. 347~351.
- [16] Smith, B. E., and Vemuganti, R. R. (1968), "A learning model for process with tool wear," *Technometrics*, 10, pp. 379~387.
- [17] Tapiero, C. S. (1987), "Production learning and Quality Control," *IIE Transaction*, 19, pp. 362~376.