

인터넷통신 네트워크 품질특성 모니터링을 위한 I-MR 관리도 활용체계

정회원 박성민*, 박영준**

An Application Scheme of I-MR Control Charts for Monitoring Internet Communication Network Quality Characteristics

Sungmin Park*, Youngjoon Park** *Regular Members*

요 약

인터넷통신 서비스업체는, 최상위 기업경영 성과지표중 하나인 고객만족지수 향상을 위해, 전사적 품질경영을 전개하고 있다. 이와 관련, 고객만족지수와 연관성이 강한 기업내부 주요 인터넷통신 네트워크 품질특성에 대한 관리의 필요성이 제기되고 있다. 본 연구는, 인터넷통신 네트워크 품질특성 모니터링을 위한 I-MR 관리도 활용체계를 제안한다. 네트워크 품질특성이 관리상태인지 모니터링하고, 네트워크 품질특성이 이상변동을 보이면, 이상원인 조사시점을 결정할 목적으로, 일정간격 연속 측정시점별, 1) 개별측정값 (individual measurements); 및 2) 연속 2개 개별측정값간 이동범위 (moving ranges)를 이용한 통계적 품질관리 체계인 I-MR 관리도를 활용한다. 사례분석에서는, 이상변동 발생시점에서 이상원인이 완전히 제거된다는 가정에 근거하여, 네트워크 품질특성의 실현가능한 최대 기대품질개선을 계산된다. 인터넷통신 2개 Service A, B, Service별 7개 네트워크 품질특성 대상, 11개 측정지역의 기대품질개선을 평균, 표준편차를 분석, I-MR 관리도 활용체계의 효과를 검토한다. 사례분석 결과, 기대품질개선을 범위는 다음과 같다; 1) Service A, ① 평균 (0.31%-11.44%), ② 표준편차 (9.82%-71.10%); 2) Service B, ① 평균 (0.29%-17.64%), ② 표준편차 (8.05%-60.59%). 그러므로, 본 연구에서 설계·제안된 I-MR 관리도 활용체계는, 네트워크 품질특성의 평균·산포 개선 및 관리상태 유지에 효과적일 것으로 판단된다.

Key Words : Expected quality improvement ratios, Individual measurements, Moving ranges, Statistical quality control, Variability

ABSTRACT

In order to enhance their own customer satisfaction index that is one of the top level managerial performance indices, Internet communication service providers endeavor onto establishing a total quality management system. Specifically, it is under discussion that some critical Internet communication network quality characteristics closely related to customer satisfaction index should be controlled aiming to this managerial goal. This paper presents an application scheme of I-MR control charts for monitoring Internet communication network quality characteristics. This statistical quality control scheme generates a signal to practitioners when it detects the network quality characteristics out-of control. It is designed based on; 1) individual measurements; and 2) moving ranges between two consecutive individual measurements collected with a constant time interval.

* 백석대학교 경상학부 (smpark99@bu.ac.kr), ** 한국전자통신연구원 통신경영연구팀 (joony@etri.re.kr)
논문번호 : KICS2006-05-245, 접수일자 : 2006년 5월 29일, 최종논문접수일자 : 2006년 10월 18일

Empirical analyses are illustrated to estimate the expected quality improvement ratios that can be realized with the application scheme proposed in this paper. Assuming that the assignable causes can be revealed and eradicated, regarding two Internet communication services A, B, seven network quality characteristics for each service, eleven distinct measuring spots for each network quality characteristic, the expected quality improvement ratios are calculated with which the effect of the application scheme is evaluated. Results show the ranges of the expected quality improvement ratios; 1) Service A, ① mean (0.31%-11.44%), ② standard deviation (9.82%-71.10%); 2) Service B, ① mean (0.29%-17.64%), ② standard deviation (8.05%-60.59%). Hence, It is anticipated that the I-MR control charts based application scheme can be effective not only to improving the mean and dispersion of the network quality characteristics concerned but also to maintaining the network quality characteristics in-control consequently.

I. 연구배경 및 주제

인터넷통신(Internet communication) 서비스업체는, 서비스제공 활동이 기업이익 창출로 연계되는 과정에서, 고객만족(Customer Satisfaction, CS)을 전사적 품질경영(Total Quality Management, TQM) 차원에서 신중히 조사·분석하고 있다. 각 기업이 고객의 자사 서비스수준에 대한 만족도를 측정하는 목적중에는, CS 향상을 위한 기업내부 품질특성 개선활동으로의 연계도 포함된다¹¹. 한편, 국내에서 인 용되고 있는 국가고객만족지수(National Customer Satisfaction Index, NCSI)를 구성하는 측정변수 항목들을 살펴보다도, 고객의 서비스에 대한 품질인 지수준이 포함된 것을 확인할 수 있듯이⁹, 최상위 기업경영 성과지표중 하나인 고객만족지수를 향상시키기 위한 기업내부 품질특성 개선·관리의 필요성이 강조될 수 있다.

전화통신 관련, CS와 서비스품질(Quality of Service, QoS)사이의 연계체계를 정립하고, 이에 기반을 둔 QoS 개선에 따른 CS 변화량 파악이 바람직한 것으로 제안된 바 있다^{12,11}. 또한, 설문조사 오피니언 평가법(opinion test method)을 이용한 전화통신 QoS 대비 CS 평가방법도 고찰된 바 있다¹⁷. 이동전화통신 관련, 경쟁사와의 비교지수화에 기초한 CVA (Customer Value Added) 측정체계가 제안된 바 있다⁸. 한편, 급속한 기술적 진보가 서비스에 적극 구현, 상용화가 활발히 추진중인, 최근 인터넷통신 관련, CS 분석 구조방정식모형(structural equation model)을 이용하여, CS에 대한 정보전송품질, 고객 서비스, 요금정책, 서비스유용성의 상관관계 연구결과도 보고된 바 있다⁶. 멀티미디어 응용프로그램의 적정 QoS보장을 위해, 네트워크 상태의 정확한 측정이 선행될 필요성이 제기된 바 있다⁵.

기업내부 기술적 네트워크 품질특성(Network Quality

Characteristic, NQC)과 CS의 관계분석을 시도하고, TQM 차원에서 그 분석결과를 활용해, CS 향상을 위한 NQC 개선활동으로 연계하고자 하는 논의도 보고된 바 있다^{4,13}. NQC는, 통신 네트워크 성능(Network Performance, NP)을 반영하며, 고객이 서비스를 요청할 때, 주어진 조건내에서 어려움 없이 서비스를 제공할 수 있는 서비스가용능력(serviceability)으로 연계될 수 있다. 서비스가용능력은 서비스; 1) 접근성(accessibility); 2) 유지성 (retainability); 및 3) 완전성(integrity) 등으로 세부분류되기도 한다^{9,12}.

이와 같이, CS 향상을 통한 기업경쟁력 제고의 필요성이 더욱 강화될 것으로 예측되는, 향후 치열한 기업경쟁 환경하에서, 고객의 인터넷통신 서비스에 대한 품질인지수준을 포함한, CS와 밀접한 연관성이 있을 것으로 추정되는 인터넷통신 NQC 모니터링을 위한 효과적인 체계가 요구된다.

본 연구는, 인터넷통신 NP 관련, NQC 모니터링을 위한 통계적 품질관리(Statistical Quality Control, SQC) 체계를 제안한다. SQC 체계는, NQC 관리상태(in-control)를 모니터링하고, 이상변동(assignable variability) 발생시점 검출, 이상원인 (assignable causes) 조사시점을 알리도록 설계된다. 또한, 제안된 SQC 체계 활용으로 실현가능한 기대품질개선을 (Expected Quality Improvement Ratio, EQIR)을 계산하여, 본 연구의 SQC 체계 도입·활용 효과를 검토한다. 단, 이상변동 검출시 요청된, 이상원인 제거 활동(corrective action)을 전개·완료하면, 이와 같은 동일한 이상원인에 의한 NQC 이상변동이, 향후에는 발생하지 않는다는 가정에 근거하여, EQIR을 계산한다.

한편, 본 연구에서 이용할 주요 SQC 방법론으로서, 일정시간간격을 갖고 연속적으로 측정되는 NQC항목; 1) 개별측정값(Individual measurements, I); 및 2) 연속 개별측정값간 이동범위(Moving Ranges,

MR)를 이용한 I-MR 관리도를 채택한다. §II는 I-MR 관리도의 이론적 배경; §III은 I-MR 관리도 설계; §IV는 사례분석; 그리고 §V에서 연구내용을 종합한다.

II. I-MR 관리도

I-MR 관리도는, 모집단 분포가 정규분포 (Normal distribution)인 품질특성을 대상으로, 부분군 (subgroup) 크기 $n_{sub}=1$ 일 때; 1) I 관리도는 품질 특성 평균 (mean) 또는 위치 (location); 2) MR 관리도는 품질특성 산포 (dispersion) 또는 변동을 관리하기 위해 고안된 품질도구의 일종이다^[10,17]. 일반적인 부분군 계량형 관리도와 비교할 때, I-MR 관리도는; 1) 품질특성상 측정시점별 1회 1개 측정값만 수집될 수밖에 없는 상황에서도 활용가능하며; 2) 측정시점으로부터 분석·조치시점까지 소요되는 시간지연이 짧은 점 등, 특히 구현·활용상 장점이 부각될 수 있다. I-MR 관리도를 활용함으로써, 모니터링 대상 품질특성이 일정수준 평균 혹은 산포를 유지하지 않으면; 1) 품질특성이 자연변동 (chance variability)만이 존재하는 통계적 관리상태를 벗어난, 관리이탈상태 (out-of-control)에 있는 것으로 간주하고; 2) 이 때, 이상변동 발생시점이 결정되며; 3) 이상변동 발생시점에서 이상원인 제거활동이 요청됨으로써; 결국 4) 품질특성을 지속적으로 개선·관리할 수 있을 것으로 기대된다. 한편, 이상원인 제거후, 동일한 이상변동이 향후 재발되지 않는다는 가정하에; 1) 품질특성 평균 및 산포를 재계산한 후; 2) 관리상태의 품질특성에 대한 재해석을 실시하고자 할 경우에도, I-MR 관리도가 사용될 수 있다^[10,23].

그림 1은, 임의 측정지역, 인터넷통신 Service A, 특정 NQC 항목을 대상으로, I-MR 관리도를 활용한 모니터링 결과를 예시한다. 그림 1은, 1년 365개 일별 데이터를 분기 (分期) 단위로써 하위 4개 단계 (stage)를 구분한 후, 단계별로; 1) 위쪽 panel에 제시된 I 관리도는, NQC 개별측정값 표본평균 기준, 평균 이상점 판정; 그리고 2) 아래쪽 panel에 제시된 MR 관리도는, NQC 이동범위 표본평균 기준, 산포 이상점 판정을 수행하는 I-MR 관리도를 예시한다.

I-MR 관리도의 특징은, 식(1) 개별측정값 (x_i)의 i^{th} 이동범위 (MR_i)를 이용, 식(2)-(3)과 같이 x_i 의 모표준편차 (σ)를 추정하는 것이다^[21].

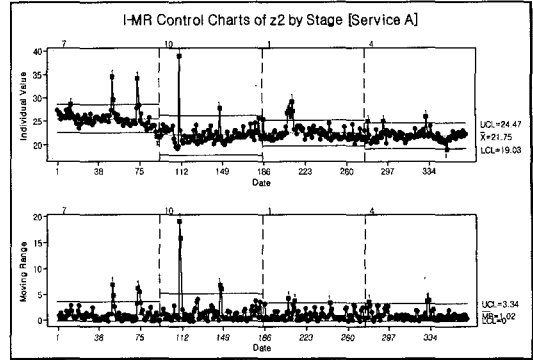


그림 1. I-MR 관리도

$$MR_i = \max [x_i, \dots, x_{i-w+1}] - \min [x_i, \dots, x_{i-w+1}] \quad (1)$$

where $i \in \{w, \dots, n\}$

$$\overline{MR} = \frac{\sum_{i=w}^n MR_i}{(n-w+1)} \quad (2)$$

$$\hat{\sigma} = \overline{MR}/d_2(w) \quad (3)$$

식(1)에서, 아래첨자 i 는 개별측정값이 수집된 일정시간간격 연속 측정시점의 일련번호를 표시하므로, 식(1)은 연속 w (span, 펼침) 개별측정값간 이동범위 계산식이다. 식(2)에 정의된 \overline{MR} 은 이동범위 표본평균이며, 식(3)의 $d_2(w)$ 는 σ 추정상수이다. 식(4)-(6)은 순서대로, I 관리도의 상한 관리한계선 (Upper Control Limit, UCL), 중심선 (Center Line, CL) 및 하한 관리한계선 (Lower Control Limit, LCL) 정의식·추정식이다. μ , \bar{x} 는 개별측정값의 모평균, 표본평균을, k 는 관리한계선 설정 매개변수 (parameter)를 표시한다.

$$UCL = \frac{\mu + k\sigma}{\bar{x} + k(\overline{MR}/d_2(w))} \quad (4)$$

$$CL = \mu \rightarrow \bar{x} \quad (5)$$

$$LCL = \frac{\mu - k\sigma}{\bar{x} - k(\overline{MR}/d_2(w))} \quad (6)$$

식(7)-(9)는 순서대로 MR 관리도 UCL, CL, LCL 정의식·추정식이다. $E(MR)$, $V(MR)$ 은 이동범위 모평균, 모분산, $d_3(w)$ 는 $\sqrt{V(MR)}$ 추정상수이다. 단, 식(9)는 $LCL \geq 0$ 인 조건을 만족해야 하므로, w , k 매개변수 조합에 따라 $D_3(w) < 0$ 이면, $D_3(w) = 0$ 으로

로 값이 재설정되어 $LCL=0$ 이 된다^[22].

$$\begin{aligned}
 UCL &= E(MR) + k\sqrt{V(MR)} \\
 &= d_2(w)\sigma + kd_3(w)\sigma \\
 &\rightarrow \left[1 + k\frac{d_3(w)}{d_2(w)}\right] \overline{MR} = D_4(w)\overline{MR} \quad (7)
 \end{aligned}$$

$$CL = E(MR) = d_2(w)\sigma \rightarrow \overline{MR} \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
 LCL &= E(MR) - k\sqrt{V(MR)} \\
 &= d_2(w)\sigma - kd_3(w)\sigma \\
 &\rightarrow \left[1 - k\frac{d_3(w)}{d_2(w)}\right] \overline{MR} = D_3(w)\overline{MR} \quad (9)
 \end{aligned}$$

III. I-MR 관리도 설계

3.1 분석대상 NQC

인터넷통신 서비스가 등급별, 지역별 등으로 다양화, 세분화되어 제공될 경우, 인터넷통신 NQC 분석시 고려할 데이터 수, 양 등의 현실적 상황은 분석의 난점 중 하나로 지적될 수 있다. 한편, 고객과 기업 모두 인터넷통신 접속, 속도와 관련된 NP를 가장 중시하는 것으로 확인된 바 있다^[3]. 문헌고찰 및 인터넷통신 관련 기술 엔지니어, 품질경영 실무자 및 통신경영 전문가 등의 경험, 의견을 종합하여 선별된, CS와 가장 밀접한 연관성이 있을 것으로 추정되는, 다음 7개 NQC 항목을 중심으로, 본 논문을 기술하고자 한다. 1) 상향속도 (z11); 2) 하향속도 (z12); 3) 패킷전달지연시간 (z2); 4) 패킷손실률 (z3); 5) 접속성공률 (z4); 6) 상향단절률 (z51); 및 7) 하향단절률 (z52).

3.2 NQC 항목별 관리한계선 선택

- I 관리도: 평균 관리시, NQC 항목별 개선방향이 고유하여, 최대화 (maximization) 또는 최소화 (minimization)를 달리하는 품질특성으로 각각 간주해야 한다. 즉, NQC 항목별 I 관리도는, UCL 혹은 LCL 중 1개가 선택된다. 분석대

상 NQC 7가지 항목을 평균 개선방향에 따라, 1) ‘망대 (望大)’ 특성 NQC 항목은 LCL; 2) ‘망소 (望小)’ 특성 NQC 항목은 UCL이 선택된다.

- MR 관리도: 산포 관리시, NQC 항목에 상관없이, 최소화를 지향하는 망소특성을 갖기 때문에, MR 관리도는 UCL이 선택된다. 표 1에, NQC 항목별 I-MR 관리한계선 선택결과가 정리된다.

3.3 시험관리한계선

과거관측값에서 추출된 예비표본(preliminary samples)으로써, 시험관리한계선 (trial control limits)을 설정한다. 매개변수 $k=3$, $w=2$ 를 선택; $d_2(w)=1.1280$, $d_3(w)=0.8525$, $D_4(w)=3.2673$, $D_3(w)=-1.2673 \rightarrow 0$ 과 같은 상수값이 계산된다. 그 결과, 설계된 I 관리도는, 식(10)-(11), MR 관리도는 식(12)-(13)과 같은 상하한 시험관리한계선을 갖는다. 단, 매개변수 값 선택은, 일반적으로 통용되는 I-MR 관리도 설계지침이 참조된다.

$$UCL = \bar{x} + 2.6596\overline{MR} \quad (10)$$

$$LCL = \bar{x} - 2.6596\overline{MR} \quad (11)$$

$$UCL = 3.2673\overline{MR} \quad (12)$$

$$LCL = 0 \quad (13)$$

3.4 수정관리한계선

시험관리한계선을 갖는 I-MR 관리도를 예비표본에 적용, 관리이탈상태 관측값 제거과정을 1회 한정하여 시행한다. 다음, 잔존하는 관리상태 관측값을 이용, 수정관리한계선 (revised control limits)을 계산한다. 한편, 효과적인 I-MR 관리도 활용을 위해서, 관리한계선의 주기적 수정 (periodic revision)이

표 1. NQC 항목별 I-MR 관리한계선 선택

No.	NQC 항목	z 항목	Unit	I 관리도 관리한계선	MR 관리도 관리한계선
1	상향속도	z11	Kbps	LCL	UCL
2	하향속도	z12	Kbps	LCL	UCL
3	패킷전달지연시간	z2	msec	UCL	UCL
4	패킷손실율	z3	%	UCL	UCL
5	접속성공율	z4	%	LCL	UCL
6	상향단절율	z51	%	UCL	UCL
7	하향단절율	z52	%	UCL	UCL

요구된다. 본 I-MR 관리도 설계에서는, 수정주기 또는 단계로서 분기를 선택한다. 즉, 1분기 약 90개 NQC 항목별 일별 데이터를 이용, I-MR 관리도 CL, UCL, LCL을 주기적으로 수정함으로써, 개선·관리활동 결과가 반영된 NQC 모니터링 SQC 체계로 갱신하고자 한다. 일반적인 수정주기로서, 표본크기 관점으로는 [min,max]=[25,200-300]개가 권고된 바 있다^[22].

3.5 관리이탈상태 판정규칙

일반적으로, Western Electric Rule No.1-4. 및 관리도 관련문헌 및 품질공학 통계소프트웨어 등에서 제공하는 4-6가지 비임의 형태인식(nonrandom pattern recognition) 검정항목들을, 관리이탈상태 판정규칙 (sensitizing rules)으로 고려할 수 있다. 하지만, 선택된 관리이탈상태 판정규칙이 증가할수록, 1) I-MR 관리도의 관리이탈상태 판정에 대한 민감도 (sensitivity)는 향상될 수 있지만, 2) I-MR 관리도가 갖는 오경보 (false alarm) 가능성 또한 증가될 수 있기에, 선택에 신중함이 요구된다^[14,21,22,24]. 아울러, 향후 언급될 NQC 항목별 비정규 (nonnormal) 확률분포를 고려할 때, 가능한 오경보를 방지할 수 있도록 I-MR 관리도를 설계함으로써, 체계 도입시 현장실무자의 신뢰획득을 우선적으로 고려할 필요가 있다. 이러한 맥락에서, 제안되는 I-MR 관리도 활용체계는, 관리이탈상태 판정규칙으로서, Western Electric Rules No.1.을 활용, "I-MR 관리도에 타점 (plotting)된 NQC 관측값이 선택된 관리한계선을 벗어날 경우"만을 관리이탈상태로 판정한다. 이와 관련, §3.6 문헌고찰 및 §4.2 사례분석 데이터의 정규성 검정 결과가 참조될 수 있다.

3.6 I-MR 관리도 성능

설계된 관리한계선 및 관리이탈상태 판정규칙을 활용하면, 특정 NQC 항목이 정규분포를 따른다는 가정하에, 아래와 같은 I-MR 관리도 성능이 기대된다.

제1종오류 (Type I Error) = $\alpha \approx 0.0027$

$$ARL_0 = 1/\alpha = 1/0.0027 \approx 370$$

즉, ARL_0 (Average Run Length under in-control) 이 370으로 계산되어, 오경보 시간간격이 개별측정값 측정시점을 단위로 표현하면, 평균 매 370회마다 1회씩 발생될 수 있음을 감수한 I-MR 관리도 설계이다. 한편, 1) Western Electric Rules No.1-4.

4개를 모두 관리이탈상태 판정규칙으로 선택하면, $ARL_0 = 370 \rightarrow 91.25$ ^[18], 2) 비정규성 (nonnormality)이 매우 심한 감마 (Gamma) 확률분포를 갖는 품질특성에, 관리이탈상태 판정규칙 Western Electric Rules No.1.을 갖는 I-MR 관리도를 적용하면, 감마 확률분포 형상(shape)에 따라, 최대 $ARL_0 = 45 \sim 97$ 까지 단축될 수 있다고 연구된 바 있다^[16].

IV. 사례분석

4.1 분석데이터

본 연구 사례분석은, 인터넷통신, 1) 2개 Service A, B; 2) 11개 측정지역; 및 3) 전송한 7개 NQC 항목에 한정; 4) 특정업체로부터 추출·제공된 2003년7월1일부터 2004년6월30일까지 총분석기간 1년, 이 중에서도 4분기 일별 데이터가 주요 분석대상이 된다.

4.2 정규성 검정

정규성 검정을 위해 그림 2, 3이 검토될 수 있다. 임의 측정지역, 총분석기간 1년, Service A, 7개 NQC 항목의 일별 데이터를 이용하여; 1) 그림 2는 히스토그램 (histograms); 2) 그림 3은 정규분포확률도 (Normal probability plots)를 제시한다.

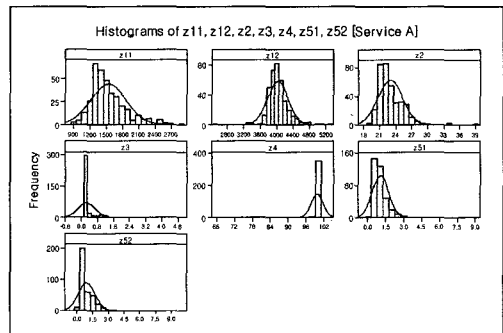


그림 2. NQC 항목별 히스토그램

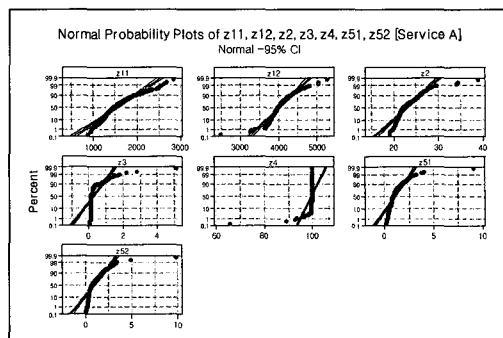


그림 3. NQC 항목별 정규분포확률도

그림 2, 3에서 확인할 수 있는 바와 같이; 1) 상대적으로 z3, z4의 경우, NQC 관측값이 일정한 구간에 집중, 비정규성이 심한 것으로 보이며; 2) 나머지 5개 NQC 항목도 정규성을 완벽하게 만족하지는 못하지만, 상대적으로 z3, z4와 비교할 때, 비정규성의 정도가 완화된 것으로 판단된다.

또한, 정규분포 적합도 검정(goodness-of-fit tests) 실시결과가 표 2에 제시되어 있다. 즉, 7개 NQC 항목 모두 동일하게; 1) Anderson-Darling (AD) test $p\text{-value} < 0.005$; 2) Kolmogorov-Smirnov (KS) test $p\text{-value} < 0.010$ 으로 정규모집단 귀무가설 기각가능성이 매우 크다고 할 수 있다. 한편, 이와 같은 결과는, 비록 그림 2, 3에서의 확률분포 형상이 반영된 점도 있지만, 아울러 적합도 검정에 사용된 표본크기가 NQC 항목별로 365개로서, 이는 작은 표본은 아닌 것으로 판단할 때, 검정력 (power of test)이 충분히 제공된 결과로도 해석될 수 있다^{115,19,20}. 그러므로, 분석대상 NQC의 완벽한 정규성이 확보되지 않은 상태를 감안할 때, §III에서 제안된 I-MR 관리도가 실제 활용시에는, 관리도 성능 측면에서, 이론적으로 유도된 $ARL_0 = 370$ 보다 축소될 가능성을 사전 양지할 필요가 있다.

4.3 I-MR 관리도 작성

§II에 언급된 그림 1은, 임의 측정지역, 총분석기간 1년, Service A, NQC z2의 I-MR 관리도이다. 비록 I-MR 관리도 활용전이지만, 그림 1에서 확인할 수 있듯이; 1) 시간경과에 따른 기업내부 품질개선활동의 결과로, 각 단계별 I 관리도 평균 및 MR 관리도 산포 수준이 시각적으로나마 개선되고 있는 것으로 판단된다; 2) 만약, 제안된 I-MR 관리도를 활용, NQC z2 모니터링을 보다 체계적으로 실시한 경우라면, 이상변동 발생시점이 ‘■’ 및 숫자 ‘1’로 함께 표시된다. 즉, 관리이탈상태를 결정해냄으로써, 이상원인 제거활동을 통한 추가적 품질개선을 기대할 수 있다고 판단된다.

한편, 그림 1은 Minitab[®]으로 작성된 I-MR 관리도로서, 그림 1에서 숫자 ‘1’은, Western Electric

Rules No.1.을 관리이탈상태 판정규칙으로 적용, 이상변동이 검출된 NQC 관측값을 표시한 기호이다. 전술된 바와 같이, I-MR 관리도 CL, UCL, LCL이 모두, 분기를 주기로 계산, 그림 1에서는 4개 단계별로 각각 다른 횡선으로 표시된 것이 확인된다. 한편, 그림 1은 각 해당주기 일별데이터를 예비표본으로 이용한 시험관리한계선을 표시한다. 그림 1의 I-MR 관리도 오른쪽에 표기된; 1) I 관리도의 $UCL = 24.27$, $\bar{x} = 21.75$, $LCL = 19.03$; 2) MR 관리도의 $UCL = 3.34$, $\overline{MR} = 1.02$, $LCL = 0$ 은 총분석기간 1년중 4분기 일별 데이터를 이용해 계산된 값이다. 한편, NQC z2의 평균 망소특성을 고려, 그림 1의 I 관리도에서 LCL은 의미가 없기 때문에, LCL 기준 관리이탈상태로 표시된 관측값 (즉, 349th 일별 데이터) 역시 이상변동과는 관련이 없다.

4.4 EQIR 계산

전술된 가정하에, 설계된 I-MR 관리도를 NQC 모니터링에 활용할 경우, 실현가능한 EQIR을 계산한다; 1) I-MR 관리도 활용전, NQC 평균, 표준편차를 계산하고; 2) I-MR 관리도 활용후, 관리이탈상태 관측값 제거과정을 1회 시행후, 잔존하는 관리상태 관측값만을 이용, NQC 평균, 표준편차를 재계산한다. 상기 I-MR 관리도 활용 전후 평균, 표준편차 변화량에 기초한, EQIR 계산식을 식(14)-(15)와 같이 정의한다. 식(14)-(15)는, 순서대로 NQC 항목별 평균, 표준편차 EQIR 계산식이다. 그러므로, EQIR 계산결과는 낙관적 관점에서 실현가능한 값으로 인식될 수 있다. 식(14)-(15)에서, \bar{x}_a , \bar{x}_b , s_a , s_b 는 순서대로 I-MR 관리도 적용 이후 및 이전 특정 NQC 항목의 평균, 표준편차를 표시한다.

$$EQIR_{\text{mean}} = \frac{\bar{x}_a - \bar{x}_b}{s_b} \quad (14)$$

$$EQIR_{\text{stdev}} = \frac{s_a - s_b}{s_b} \quad (15)$$

표 3은, 4분기 일별데이터를 이용하여, Service별,

표 2. NQC 항목별 정규분포 적합도 검정 결과

적합도 검정	검정통계량 관측값 p-value	NQC						
		z11	z12	z2	z3	z4	z51	z52
AD test	observed test statistic	8.220	8.233	10.456	71.019	115.289	21.923	22.807
	p-value	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
KS test	observed test statistic	0.105	0.111	0.124	0.304	0.438	0.156	0.174
	p-value	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010

NQC 항목별, 11개 측정지역의; 1) $EQIR_{mean}$; 2) $EQIR_{stdev}$ 평균, 표준편차 및 변동계수 (coefficient of variation, c.v.) 절대값을 제시한다. $EQIR_{mean}$ 평균의 경우, Service A, B 모두, 평균 망대특성을 갖는 z11, z12, z4는 양 (+), 평균 망소특성을 갖는 나머지 z2, z3, z51, z52는 음 (-) 값을 갖는 것을 확인할 수 있다. 또한, $EQIR_{stdev}$ 평균의 경우, Service A, B, 7개 NQC 항목 모두, 음 (-) 값이 계산된다. 그러므로, Service A, B, 7개 NQC 항목 모두, 평균 및 산포 개선을 기대할 수 있다. 한편, 1) 절대값크기 검토결과, $EQIR_{mean}$ 평균 < $EQIR_{stdev}$ 평균인 관계가, Service 및 NQC 항목에 상관없이 동일하게 유지되고 있는 점; 2) |c.v.| 검토결과, Service B의 NQC z12를 제외한 나머지 모두에서, $EQIR_{mean}|c.v.| > EQIR_{stdev}|c.v.|$ 관계가 확인되고 있는 점 등을 고려하면, 특히 NQC 항목별 산포 안정화에 I-MR 관리도 활용체계가 더욱 효과적일 것으로 판단된다.

4.5 수정관리한계선

그림 1의 4분기; 1) I 관리도 UCL을 벗어난 NQC z2 관측값은 279th, 293th, 331th; 2) MR 관리도 UCL을 벗어난 NQC z2 관측값은 279th, 331th, 332th에 위치한 일별 데이터이다.

그림 4의 4분기 I-MR 관리도는, 상기 4개 관측값 제거후 계산된, 수정관리한계선을 표시한다. 단, 그림 1의 I 관리도 LCL을 벗어난 349th 일별 데이터는 제거대상에서 고려치 않는다. 즉, 수정전후 CL 및 시험·수정관리한계선을 정리하면 표 4와 같다. 이렇게 계산된 수정관리한계선은, 그림 1, 4 관련 측정지역의 다음 해당주기 I-MR 관리도에서, NQC z2 모니터링을 위해 활용될 수 있다.

표 3. NQC 항목별 EQIR 분석 (단위: %)

Service	EQIR 구분	통계량	NQC						
			z11	z12	z2	z3	z4	z51	z52
A	$EQIR_{mean}$	평균	0.39	0.31	-0.87	-11.44	0.35	-5.35	-3.69
		표준편차	0.25	0.14	1.18	7.80	0.06	3.66	2.28
		c.v.	64.74	45.97	134.66	68.22	17.93	68.45	61.74
	$EQIR_{stdev}$	평균	-10.83	-15.36	-19.78	-20.82	-71.10	-14.90	-9.82
		표준편차	5.23	5.39	15.16	7.70	5.38	9.49	4.66
		c.v.	48.28	35.11	76.64	37.00	7.56	63.73	47.43
B	$EQIR_{mean}$	평균	0.29	0.35	-1.24	-17.64	0.43	-7.51	-11.22
		표준편차	0.25	0.12	1.40	11.19	0.05	8.03	10.76
		c.v.	87.45	35.03	113.16	63.45	11.48	106.84	95.87
	$EQIR_{stdev}$	평균	-8.05	-11.96	-16.76	-28.91	-60.59	-13.34	-16.48
		표준편차	3.58	7.07	12.51	12.70	6.92	8.51	10.15
		c.v.	44.46	59.08	74.63	43.92	11.42	63.82	61.58

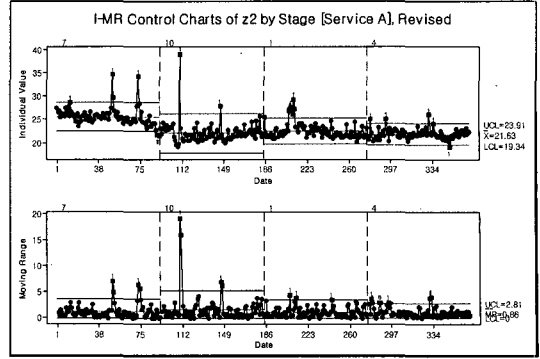


그림 4. I-MR 관리도, 수정관리한계선

표 4. 수정전후 CL 및 시험·수정관리한계선 (그림 1, 4 관련)

		수정전	수정후
		I 관리도	UCL
	CL	21.75	21.63
	LCL	19.03	19.34
MR 관리도	UCL	3.34	2.81
	CL	1.02	0.86
	LCL	0.00	0.00

4.6 NQC 모니터링 I-MR 관리도 요약

§II-IV에 설명된, NQC 모니터링을 위한 I-MR 관리도를, 설계→작성→활용 3단계로 나누어, 표 5와 같이 요약할 수 있다; 1) 설계시, Step1.6., 1.7.처럼, 데이터 정규성 등을 고려한 I-MR 관리도 성능 검토가 필요하다. 아울러, I-MR 관리도 활용체계의 효과를 검토하기 위한 EQIR 계산이 요구될 수 있다; 2) 작성시, 가능하면 관리상태에 있었을 것으로 추정되는 최근 NQC 관측값으로부터 예비표본을 추출하고; 3) 주기별 활용후, NQC 개선·관리 활동 결과를, Step1.으로 재반영하는 SQC 순환구조로의 전개를 고려할 수 있다.

표 5. NQC 모니터링 I-MR 관리도 요약

• Step1. I-MR 관리도 설계	
1.1.	관리대상 NQC 항목 결정
1.2.	NQC 항목별 I-MR 관리한계선 선택
1.3.	관리한계선 매개변수 값 결정
1.4.	수정주기 및 예비표본크기 결정
1.5.	관리이탈상태 판정규칙 선택
1.6.	관리도 성능 검토
1.7.	데이터 정규성 검토
1.8.	EQIR 검토
↓	
• Step2. I-MR 관리도 작성	
2.1.	예비표본 추출
2.2.	시험관리한계선 계산
2.3.	관리이탈상태 NQC 관측값 제거
2.4.	수정관리한계선 계산
↓	
• Step3. I-MR 관리도 활용	
3.1.	NQC 항목별 일별 데이터 수집
3.2.	I-MR 관리도 타점
3.3.	관리이탈상태 검출
3.4.	이상원인 제거활동 요청
3.5.	NQC 개선
3.6.	NQC 관리상태 유지

V. 종합

본 연구는, 인터넷통신 NQC 모니터링을 위한 I-MR 관리도 활용체계를 제안하고, 효과 검토를 위해 EQIR 정의·계산을 시도하였다. 비록 낙관적 관점에서의 EQIR 계산결과이긴 하지만, 본 연구의 I-MR 관리도 기반 SQC 체계가 NQC 평균, 특히 산포 개선 및 유지에 효과적인 것으로 검증되었다. 특히, 본 연구의 NQC 모니터링 SQC 체계는; 1) 데이터 수집비용, 발생빈도, 측정시간·난이도 등의 여러 가지 현실적 이유로, 측정시점별 $n_{sub} = 1$ 인 경우라도 구현가능한 점; 및 2) CL, UCL, LCL 도출과정의 직관성 및 용이성 등이, 다른 부분군 계량형 관리도와 비교해, 상대적 이점이 있기 때문에, 특히 SQC 체계 도입시점에 있는, NP 관리를 담당하는 현장실무자에 의한 선호도가 작지 않으리라 예상된다.

한편, 데이터 비정규성에 의한 I-MR 관리도 성능 저하로 인해, 본 연구에서의 설계에 따른 이론적으로 유도된 $ARL_0 = 370$ 을 유지하지 못하는 현상을 보완하기 위해서, I-MR 관리도 관리한계선 매개변수 k 를, 본 연구에서 채택한 값보다 상향조정하는 방안이 검토될 수 있다. 특히, 오경보 억제를 통한 현장실무자의 신뢰획득이 강조될 경우, 이상원인 발생시점 판정을 위한 의사결정을 당분간 보수적 견

지에서 전개하는 것도 바람직할 수 있기 때문이다. 이러한 맥락에서, 관리이탈상태 판정규칙 또한 NQC 평균 및 산포 안정화 추이를 고려해 취사선택할 필요가 있다. 또한, 다양한 비정규 확률분포 형상 및 목표 ARL_0 수준 등을 고려한 최적 I-MR 관리도 설계 방안에 대한 추가검토가 향후 고려될 수 있다.

이 외에도, 비정규성으로 인해 야기되는 문제점 극복을 위한 이론적 접근으로; 1) Box-Cox 데이터 변환; 2) 지수가중이동평균 (Exponential Weighted Moving Average, EWMA) 통계량을 이용한 관리도 작성 등을 고려할 수 있다. 반면; 1) Box-Cox 데이터변환의 경우, NQC 항목별 고유단위를 사용할 수 없다는 점, 데이터변환 매개변수 결정; 2) EWMA 통계량을 이용한 관리도 활용시, 기중값 및 관리한계선 폭 관련 매개변수 결정, 관리한계선 비선형성 등에 대한 이해 및 고찰이 선행될 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김연성, 박상찬, 박영택, 서영호, 유한주, 이동규, 품질경영론, 제3판, 서울:박영사, 2004.
- [2] 김태호, "통신 서비스품질과 프로세스 관리" 한국경영과학회 1999년 추계학술대회 논문집, pp.57-58, 1999.
- [3] 박상진, 박종훈, 이창훈, "초고속인터넷서비스의 사용자 중심 품질지표에 관한 연구", 한국경영과학회/대한산업공학회 2001년 춘계공동학술대회 논문집, pp.962-965, 2001.
- [4] 박성민, 박영준, "회귀변수 선택절차를 이용한 인터넷통신 네트워크 품질특성과 고객만족도와의 관계 실증분석", *IE Interfaces*, 18권, 3호, pp.253-267, 2005.
- [5] 박주원, 김종원, "실시간 미디어 전송의 중단간 성능 향상을 위한 혼성 모니터링 기법", 한국통신학회논문지, 30권, 10B호, pp.630-638, 2005.
- [6] 소형기, 손소영, "무선인터넷서비스 고객만족도 분석을 위한 구조방정식모형", *IE Interfaces*, 14권, 2호, pp.182-189, 2001.
- [7] 안혜숙, 조재균, 염봉진, "통신에 있어서 서비스 품질 평가방법에 관한 고찰", *IE Interfaces*, 12권, 4호, pp.496-505, 1999.
- [8] 윤재욱, "CVA개념을 도입한 이동전화서비스 고객만족도 실증분석", *IE Interfaces*, 12권, 4호, pp.487-495, 1999.

- [9] 윤종일, 서형식, 임춘성, “모바일 서비스 고객만족도 평가체계에 관한 연구”, *한국경영과학회/대한산업공학회 2003 춘계공동학술대회*, 한동대학교(포항), pp.169-173, 2003.
- [10] 이레테크 미니탭사업팀, *새Minitab 실무완성 Release 14*, 경기:이레테크, 2005.
- [11] 이수호, 김태호, “서비스품질 측정과 고객만족도 조사의 효과적 연계”, *대한산업공학회/한국경영과학회 2000년 춘계공동학술대회 논문집*, pp.86-89, 2000.
- [12] 조기성, 장희선, 임석구, 김영선, “IMT-2000에서의 서비스품질 및 네트워크성능체계”, *IE Interfaces*, 15권, 3호, pp.256-262, 2002.
- [13] 한국전자통신연구원, *품질지표와 고객만족지표와의 연계성 파악 연구*, 대전:한국전자통신연구원, 2004.
- [14] Automotive Industry Action Group, *Fundamental Statistical Process Control*, Southfield:AIAG,1991.
- [15] Biller, B. and B. L. Nelson, “Answers to the top ten input modeling questions”, *2002 Winter Simulation Conference Proceedings*, San Diego, CA, pp.35-40, December 2002.
- [16] Borror, C. M., Montgomery, D. C. and Runger, G. C., “Robustness of the EWMA control chart to nonnormality”, *Journal of Quality Technology*, Vol.31, No.3, pp. 309-316, 1999.
- [17] Breyfogle, F. W. III, *Implementing Six Sigma*, New Jersey:John Wiley & Sons, 2003.
- [18] Champ, C. W. and Woodall, W. H., “Exact results for Shewhart control charts with supplementary runs rules”, *Technometrics*, Vol.29, No.4, pp. 393-399, 1987.
- [19] Gross, D., “Sensitivity of output performance measures to input distribution shape in modeling queues - 3: real data scenario”, *1999 Winter Simulation Conference Proceedings*, Phoenix, AZ, pp.452-457, December 1999.
- [20] Law, A. M. and Kelton, W. D., *Simulation Modeling and Analysis*, 3rd ed., New York:McGraw-Hill, 2000.
- [21] MinitabR, *Minitab^R Release 14.20 StatGuide*, State College:Minitab Inc., 2005.
- [22] Montgomery, D. C., *Introduction to Statistical Quality Control*, New York:John Wiley & Sons, 2001.
- [23] Montgomery, D. C. and Runger, G. C., *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 2nd ed., New York:John Wiley & Sons, 1999.
- [24] Western Electric, *Statistical Quality Control Handbook*, Indianapolis:Western Electric Corp., 1956.

박 성 민 (Sungmin Park)

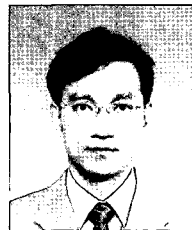
정회원



건국대학교 산업공학과 학사
고려대학교 산업공학과 석사
미국 Arizona State University
Industrial Engineering, Ph.D.
현재 백석대학교 경상학부 교수
<관심분야> 응용통계, 품질경영,
시뮬레이션

박 영 준 (Youngjoon Park)

정회원



고려대학교 산업공학과 학사
고려대학교 산업공학과 석사
고려대학교 산업공학과 박사
현재 한국전자통신연구원
선임연구원
<관심분야> 통신경영, 최적화,
응용통계