

공기 변화량 분포를 이용한 효율적인 인버터타입 압축기 시스템

심재용¹ · 김용철² · 노영빈¹ · 정희경^{3*}

Efficient Inverter Type Compressor System using the Distribution of the Air Flow Rate

JaeRyong Shim¹ · Yong-Chul Kim² · Young-Bin Noh¹ · Hoe-kyung Jung^{3*}

¹VETEC CO.,LTD, Daejeon 305-509, Korea

²Department of Logistics & Statistical Information, Yongin University, Yongin 449-714, Korea

^{3*}Department of Computer Engineering, Paichai University, Daejeon 302-735, Korea

요 약

공기압축기는 공장 및 설비 가동에 사용되는 필수 장비로써 미국 산업용 전기의 약 30%를 소비하고 있으며, 소비 전력 절감을 위해 고급화된 기술 방안들이 제시되고 있다. 압축공기 변화량의 진폭변동이 작을 경우 시스템 안정성이 증가하며, 소비전력을 절감시켜 효율적인 에너지 시스템 설계를 가능하게 한다. 일반적으로 통계적 분석에서는 데이터의 분포를 정규분포, 로그정규분포, 감마분포 등을 이용하여 나타내지만, 압축공기 변화량을 나타내는 데이터처럼 긴 꼬리를 가지는 경우, 한 가지의 분포를 적용하는 것은 적합하지 않을 수 있다. 이에 따라, 본 논문에서는 압축공기의 변화량과 관련된 데이터를 두 개의 영역으로 나눈 혼합분포함수를 적용하여 평균전력 절감 가능성을 제시하였다. 이는 압축공기 변화량이 충분히 큰 수를 초과하는 영역에서는 가우시안 분포보다는 일반 파레토 분포가 더 정확한 키타일 값을 추정하는 데에 적합하기 때문이다.

ABSTRACT

Air compressor, as an essential equipment used in the factory and plant operations, accounts for around 30% of the total electricity consumption in U.S.A, thereby being proposed advanced technologies to reduce electricity consumption. When the fluctuation of the compressed airflow rate is small, the system stability is increased followed by the reduction of the electricity consumption which results in the efficient design of the energy system. In the statistical analysis, the normal distribution, log normal distribution, gamma distribution or the like are generally used to identify system characteristics. However a single distribution may not fit well the data with long tail, representing sudden air flow rate especially in extremes. In this paper, authors decouple the compressed airflow rate into two parts to present a mixture of distribution function and suggest a method to reduce the electricity consumption. This reduction stems from the fact that a general pareto distribution estimates more accurate quantile value than a gaussian distribution when an airflow rate exceeds over a large number.

키워드 : 데이터 품질진단, 업무규칙, 연구개발비, 연구비카드, 이상 거래 탐지

Key word : Data quality diagnosis, Business Rules, R&D, Research Cards, Detect unusual trading

Received 08 September 2015, Revised 30 September 2015, Accepted 05 October 2015

* Corresponding Author Hoe-kyung Jung(E-mail:hkjung@pcu.ac.kr, Tel:+82-42-520-5640)

Department of Computer Engineering, Paichai University, Daejeon 302-735, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.10.2396>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

공기압축기는 공기를 압축 저장했다가 각종 산업용 장비에 공급하는 설비로, 자동차나 중공업 등 각 산업계에서 필수 장비로 활용되고 있으며 미국의 경우 전력사용량의 약 30%를 점유하는 주요 소비 에너지원이다[1, 2]. 공기압축기 소비전력의 절감 방안으로는 시스템 제어 기술, 압축기 및 저장 탱크 용량 설계 기술, 수요 관리 기술 등이 있으며, 운영 방법으로는 피크(peak) 요구량을 고려한 부분 부하(part-load) 운전, 순서 제어(Sequence Control)를 통한 부하/무부하 운전 등이 있다[3].

공기압축기의 압력을 일정한 범위 내에서 유지하는 것은 에너지 효율 측면에서 반드시 고려해야하는 제어 기술이며[4], 압력을 적절한 범위 내에서 조절하기 위한 압축공기 변화량의 통계적 분석은 효율적인 시스템 설계에서 매우 중요하다. 급격한 압축공기량의 변화는 전력의 급격한 변화를 야기하며, 이는 서지(surge) 및 하모닉(harmonic) 성분으로 인해 열에너지 및 방사에너지 형태로 나타나 비효율적인 소비를 유발한다. 이러한 변화들을 최소 범위로 제한하기 위해 압축공기의 수요 예측 제어, 순서 제어, 그리고 공기 압축기 및 저장 탱크 용량 설계와 같은 방법을 적용해야하며, 이를 통해 전반적인 시스템 설계의 정확성을 높일 수 있다. 압축공기의 변동 유량 조절은 에너지 비용 측면에서 인버터타입 압축기(VSD : Variable Speed Drive) 소비전력을 최대 20%가량 절감하는 효과가 있다[5].

압축 공기 생산은 VSD와 FSD(Fixed Speed Drive) 타입의 공기 압축기를 복수로 설치하여 운영하는데 시스템 설계에 따라 FSD 타입을 기본 로드(Base Load) 공기 압축기로 정하고 VSD 타입으로 수요량을 충족하도록 하거나, VSD 타입을 기본 로드 공기 압축기로 정하고 FSD 타입이 필요 수요량을 충족하도록 하고 있다. 본 논문에서 참조한 시스템은 VSD 타입의 공기압축기가 먼저 운전을 시작하고 압축공기 요구량이 사전에 설정된 유량을 초과하는 시점에, 다른 FSD 타입의 공기압축기들이 순차적으로 운전을 시작하는 방식이다. FSD 타입의 경우 완전부하, 무부하, 정지의 3가지 운전종류가 있으며, 무부하운전의 경우 전력소비는 발생하지만 압축공기는 생산하지 않는다. 따라서 FSD 공기압축기의 무부하 운전을 최소화하도록 VSD 공기압축기의 출

력을 가변해 수요량에 최적화된 설비를 가동하고, FSD 타입 공기압축기의 무부하 운전을 최대한 회피하여 에너지 절감효과를 얻을 수 있다. 따라서 VSD 타입 압축기의 공기변화량은 시스템의 요구사항에 최적화된 시스템 설계의 하나의 지표가 된다.

본 논문은 VSD 타입 공기압축기의 소비전력 절감 시스템 설계를 위해 압축공기 변화량 데이터에 대하여 가우시안 분포와 파레토 분포를 혼합한 새로운 분포로 추정하고, 이 혼합모형을 데이터에 적용하여 평균전력을 절감할 수 있음을 제시하고자 한다.

다음 절에서는 일반 파레토 분포함수에 대하여 서술하고, 압축공기 변화량에 적합한 혼합모형을 제시하였다. 또한, 3절에서는 압축공기 변화량 데이터를 혼합 모형의 적용 예제로 논의하였다. 마지막 4절에서는 관련된 결론에 대하여 논의하였다.

II. 본 론

일반적으로 데이터에 대한 분포함수를 추정할 경우 모수 분포함수를 적용하여 분포의 형태를 파악하며, 데이터가 충분히 큰 경우에는 잘 알려진 정규분포를 이용한다. 그러나 데이터가 양쪽 꼬리 부분에서 정규분포를 따르지 않은 경우에는 분포 함수의 조정이 필요하다. 특히, 양쪽 극단치의 데이터가 적합하지 않은 경우 분리하여 분석할 필요가 있다. 데이터가 왜도가 있는 경우에는 로그정규분포, 감마분포, 와이블분포, 파레토분포 등이 적합할 수 있다.

파레토 분포(Pareto Distribution)는 오른쪽이 두터운 분포(Heavy tailed Distribution)로 한계 임계치를 초과하는 발생 확률을 추정할 때 사용되며 기상, 환경 혹은 화재처럼 재앙적 요소의 발생이 존재하는 분야, 거대손해의 발생이 예측되는 재 보험관련 분야, 위험분산을 위한 포트폴리오 구성이 필요한 자산 운용 및 투자 관련 분야, 식품 위험 분석 분야, 인터넷 트래픽 모델링 분야 등에 많이 사용된다[6, 7]. 특히 일반 파레토 분포는 다음과 같이 표현된다.

$$G(x) = \begin{cases} 1 - \left(1 + \xi \frac{x}{\beta}\right)^{-1/\xi} & \text{if } \xi \neq 0 \\ 1 - e^{-x/\beta} & \text{if } \xi = 0 \end{cases} \quad (1)$$

이며, ξ 는 형태 변수, β 는 크기 변수이다. $\beta > 0$ 일 때, $\xi \geq 0$ 이면 $x \geq 0$ 이며 $\xi < 0$ 이면, $0 \leq x \leq \frac{-\beta}{\xi}$ 인 관계를 만족한다.

충분히 큰 값 u 를 초과하는 데이터에 대한 분포함수는 일반 파레토 분포함수에 근사적으로 접근한다. 그러므로 본 논문에서 제시하는 혼합분포는 u 값을 기준으로 구분하여 적용이 가능하다. 다음은 데이터를 이분화 하여 적용한 혼합모형을 나타내었다.

혼합 분포함수는 충분히 큰 수 u 에 대하여,

$$F(x) = I_u(x)G(x) + (1 - I_u(x))H(x), \quad (2)$$

$G(x)$ 는 식 1로 표현되는 일반 파레토 분포이며,

$$I_u(x) = \begin{cases} 1 & |x| \geq u \\ 0 & |x| < u \end{cases} \quad (3)$$

이다.

$H(x)$ 는 정규 분포함수이다.

또한 에너지 절감 관점에서 압축 공기 변화량의 한계를 결정할 수 있는 $q\%$ -quantile을 추정하는 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$q\%$ -quantile은

$$\hat{x}_q = u + \frac{\hat{\beta}}{\hat{\xi}} \left(\left(\frac{N}{N_u} (1-q) \right)^{-\hat{\xi}} - 1 \right) \quad (4)$$

이고 N 은 전체 관찰수, N_u 는 u 보다 큰 관찰수이다.

III. 분석

사례 분석 데이터는 VSD (250마력) 공기 압축기의 유량계와 전력계로부터 수집하였다. 이 현장에는 VSD 공기 압축기가 기본 로드형으로 설정되어있고 부하/무부하 타입 FSD(200마력) 공기압축기가 여러 대 설치되어있어, 데이터에는 FSD 공기압축 운전내용이 반영되어있다. 본 논문에서는 1초 단위로 수집한 32,401개의 데이터를 이용하여 VSD의 압축공기 변화량과 에너지 효율 절감에 대한 분석 사례를 제시하고자한다.

일반적으로 압력이 정압유지가 될 경우 시스템 안정성이 증가하고 소비전력이 절감된다. 압축기 샘플 시간

을 k , 시스템 압력을 $p(k)$, 생산 유량을 $q(k)$, 사용 유량을 $Q_{out}(k)$, V 를 시스템 용적, 그리고 T_s 를 샘플링 주기가 할 때 압축공기 시스템은 아래의 비선형 이산 시스템으로 표시된다[8].

$$p(k+1) = p(k) + 10^5 \frac{(q(k) - Q_{out}(k))}{V} T_s \quad (5)$$

식 5에서 압력의 변화는 생산 유량 $q(k)$, 사용 유량 $Q_{out}(k)$ 과의 차이인 압축공기 변화량과 비례한다. 정압유지를 위해서는 압축공기 변화량의 예측이 중요하며, 통계적 분석을 통해서 효율적인 에너지 절감 시스템 설계가 가능하다.

그림 1은 압축공기 변화량에 대한 QQ Plot이며 x축은 이론적 정규 키타일 값(Normal theoretical quantiles), y축은 샘플 키타일 값(Sample quantiles)을 나타내는데 극단치 값에서 정규성을 갖지 못하므로 분포함수의 조정이 필요하다.

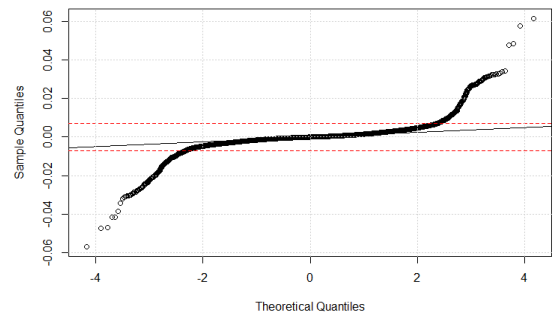


그림 1. VSD의 압축공기 변화량(ΔQ (m3/sec))에 대한 QQ Plot
Fig. 1 QQ Plot of the VSD compressed air flow rate (ΔQ (m3/sec))

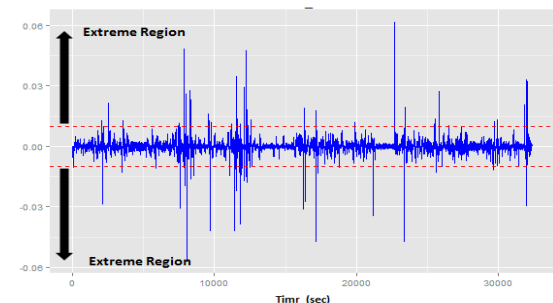


그림 2. 압축공기 변화량 (ΔQ (m3/sec))
Fig. 2 Compressed air flow rate (ΔQ (m3/sec))

그림 2는 그림 1의 $u=[0.01, -0.01]$ (m³/sec)를 기준으로 압축공기 변화량을 보여주며 극단치 값은 점선 위와 아래 영역으로 나뉜다. 여기서 x축은 샘플 시간(초)이며, y축은 압축공기 변화량(ΔQ (m³/sec))을 나타낸다. 점선 위에 해당하는 급상승 부분은 압축공기의 사용요구가 갑자기 발생하여 FSD 타입의 다른 공기압축기를 구동시킨 경우이고, 점선 아래에 해당하는 급하강 부분은 압축공기가 충분히 생산되고 더 이상 요구사항이 없을 때 FSD 타입의 공기압축기 전원이 차단된 경우이다. 이를 산점도(Scatter Plot)로 보면 그림 3과 같다.

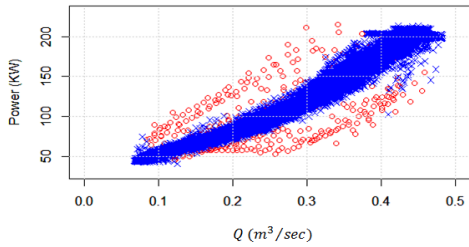


그림 3. 압축공기량 (Q (m³/sec))과 순간 전력 (KW)의 산점도
Fig. 3 The scatter plot of compressed air (Q (m³/sec)) and instantaneous power (KW)

그림 3은 압축공기량 (Q)와 전력과의 상관관계를 보여준다. 여기서 x축은 압축공기량 (Q (m³/sec)), y축은 순간전력 (KW)을 나타내며, o 로 표시된 데이터가 그림 2의 압축공기 변화량(ΔQ (m³/sec)) 에서 파레토 영역 즉 $u > 0.01$ (m³/sec) 혹은 $u < -0.01$ (m³/sec)에 해당하는 데이터들이며, 중심 영역의 x로 표시된 데이터는 그림 2의 압축공기 변화량(ΔQ (m³/sec)) 에서 가우시안 분포에 해당하는 데이터들이다. 경계 지점 근처 데이터는 통계적으로 가우시안 분포나 파레토 분포로 해석될 수 있는 영역이다. 가우시안 분포에 속하는 데이터들을 중심으로 파레토 분포 데이터들은 위쪽과 아래 쪽으로 나뉘고, 위쪽은 압축공기 변화량의 급상승 부분, 아래쪽은 급하강 부분이다. 따라서 그림 1, 그림 2, 그리고 그림 3을 통하여 알 수 있듯이 극단치 값과 나머지 데이터로 이분화 하여 해석할 새로운 혼합분포모형이 필요함을 알 수 있다. 표 1은 파레토 분포의 부츠트랩 적합성 검정 [9, 10]을 한 결과이며 파레토 분포에 적합한 u 값은 각각 0.007, -0.0069이고 각각의 p-값은 0.0991과 0.0971로 적합하고 98.8%이상의 값에 해당하는 데이터는 파레토 분포가 적합함을 알 수 있다.

표 1. 파레토 적합성 테스트 결과
Table. 1 The result of the Pareto fit test

q%-quantile	Positive ΔQ Estimate	Negative ΔQ Estimate	Positive p-value	Negative p-value
98.5	0.0063	-0.0063	0.0040	0.0320
98.6	0.0065	-0.0065	0.0020	0.0481
98.7	0.0067	-0.0067	0.0390	0.0531
98.8	0.007	-0.0069	0.0991	0.0971
98.9	0.0072	-0.0072	0.2653	0.1181
99	0.0075	-0.0075	0.2823	0.0911
99.1	0.0078	-0.0078	0.3313	0.1522
99.2	0.0082	-0.0081	0.3844	0.1351
99.3	0.0086	-0.0085	0.4294	0.1301
99.4	0.0091	-0.0090	0.3464	0.1912
99.5	0.0098	-0.0097	0.2853	0.2503
99.6	0.0106	-0.0104	0.2242	0.3223
99.7	0.0117	-0.0115	0.2022	0.4475
99.8	0.0134	-0.0132	0.2072	0.4695

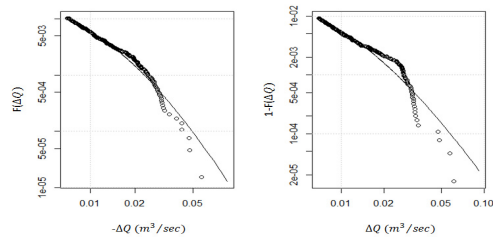


그림 4. 일반파레토분포 꼬리 그림
Fig. 4 GPD Tail Plot

그림 4의 좌편 그림과 우편 그림은 일반파레토분포 왼쪽 꼬리 그림과 일반파레토분포 오른쪽 꼬리 그림을 보여주며, u 를 각각 0.007, -0.0069로 설정하였을 때 일반 파레토 분포에 대한 적합성을 보여준다. 따라서 두 값 중 절대 값의 큰 수를 u 로 정하면 양과 음의 데이터에서 일반 파레토 분포를 따른다는 것을 알 수 있다. 그림에서 x축은 압축공기 변화량(ΔQ (m³/sec))을, 그리고 y축은 누적분포함수를 나타낸다.

본 논문에서 제시한 압축공기 변화량(ΔQ (m³/sec))의 혼합 분포 함수는 다음과 같다.

식 2의 혼합 분포에서 충분히 큰 수 $u=0.007$ (m³/sec)에 대하여 $G(x)$ 는 일반 파레토 분포이며 상위 파레토 분포 추정치는 형태 변수 $\xi = 0.27$, 크기 변수 $\beta = 0.0057$ 이고 하위 파레토 분포 추정치는 형태 변수 $\xi =$

0.21, 크기 변수 $\beta=0.0054$ 이다. $H(x)$ 는 정규분포이며 평균은 $5.76e-8$ 이고 표준편차는 0.0029이다.

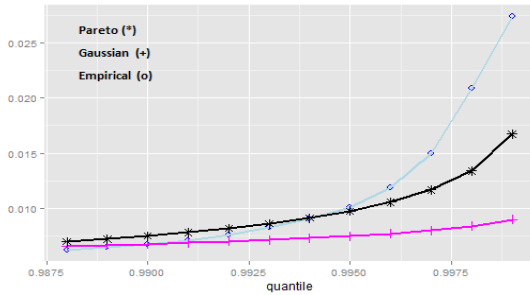


그림 5. 퀀타일과 압축공기 변화량(ΔQ (m3/sec))과의 관계
Fig. 5 Relationship between the quantile and compressed air flow rate(ΔQ (m3/sec))

그림 5는 x축은 98.8%이상의 q%-퀀타일이고 y축은 압축공기 변화량 데이터이며, 표 1에서 98.8%이상의 값에 해당하는 데이터는 파레토 분포의 적합성을 보여주고 있다. 그림 5에서 가우시안 분포와 경험적 분포의 추정치는 과소 또는 과대 추정됨을 알 수 있다. 이는 극한치 데이터의 일반적 패턴 분석만으로는 시스템 설계의 정확성을 높이기 어렵다는 점을 보여준다.

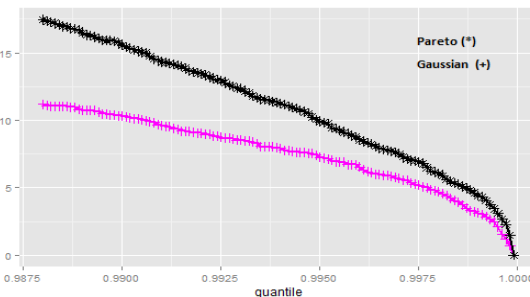


그림 6. 퀀타일과 평균 전력 (KW) 절감과의 관계
Fig. 6 Relationship between the quantile and average power (KW) reduction

그림 6은 압축공기 변화량 98.8% 퀀타일 이상의 데이터 (x축)와 평균전력 간 (y축)의 관계를 보여준다. 시스템 설계 시 98.8% 퀀타일을 압축공기 변화량의 상한값으로 기준설정 시 파레토 분포인 경우 평균전력 17.45 KW이고, 가우시안 분포인 경우 평균전력 11.18KW이다. 그러므로 파레토 분포의 퀀타일값을 사용할 경우 6.27KW의 평균전력을 더 절감할 수 있음을 보여준다.

따라서 에너지 효율적인 면에서 파레토 분포가 가우시안 분포에 비해 더 우월함을 알 수 있다. 표 2는 그림 6의 일부 값들을 나타낸다.

표 2. 압축공기 변화량 (q%-퀀타일)에 대한 평균전력 (KW) 비교
Table. 2 Average Power (KW) Comparison on Compressed air flow rate (q%-quantile)

q%-quantile	Gaussian	Pareto	Difference
0.988	11.180	17.450	6.270
0.989	10.747	16.466	5.720
0.99	10.326	15.536	5.210
0.991	9.613	14.302	4.689
0.992	9.061	13.441	4.379
0.993	8.526	12.345	3.819
0.994	7.910	11.234	3.324
0.995	7.258	9.863	2.606
0.996	6.524	8.555	2.031
0.997	5.697	7.528	1.831
0.998	4.698	6.063	1.365
0.999	3.130	4.425	1.296

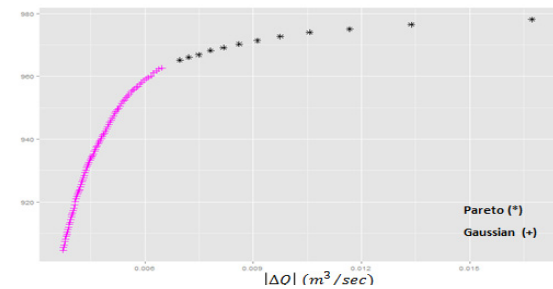


그림 7. 혼합분포의 압축공기 변화량(ΔQ (m3/sec)) 상한과 평균전력 (KWh)과의 관계
Fig. 7 Relationship between the upper limit of the compressed air flow rate(ΔQ (m3/sec)) and average power (KWh)

그림 7은 혼합 분포를 고려한 압축공기 변화량(ΔQ (m³/sec)) 상한 (x축)과 평균전력 (KWh) (y축) 과의 관계를 보여준다. (*)는 파레토 분포 퀀타일 추정치, (+)는 가우시안 분포 퀀타일 추정치이다. 이러한 혼합 분포를 통해, VSD의 정해진 소비전력에 의거한 압축공기 변화량의 상한설정을 시스템 설계에 반영할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어 압축 공기 변화량(ΔQ (m³/sec))의 상한을 99.5% 퀀타일값인 0.01 (m³/sec)로 정하면 최대 평균 972.72KWh를 소비하는데, 0.004 (m³/sec)로 정하

면 최대 평균 917.17KWh를 소비하여 평균 전력을 약 55KWh를 절감할 수 있다.

즉, 압축공기 변화량을 일정한 범위 내에서 제어함으로써 VSD의 평균전력을 절감할 수 있을 뿐 아니라 식 5와 같이 시스템 용적의 최소화를 통해 초기설치비 및 운영비를 절감할 수 있다. 또한 이 혼합 분포를 이용하면 한계 임계치를 넘어서는 압축공기 변화량에 대한 확률을 고려하여 정확한 시스템 설계의 가이드라인을 제공할 수 있고, 시스템 운전 시 압축공기 변화량(ΔQ (m^3/sec))의 상한을 상회할 경우 시스템 비용 측면에서 위험 요소로 간주하는 비교 조건으로 사용할 수 있다. 또한 압축공기 사용량 수요 예측의 분산을 최소화하여 비례-적분-미분 (PID) 방식뿐만 아니라 MPC(Model Predictive Control)와 같은 고급화된 압력 제어 방법에서 예측 지평 (Predictive Horizon) 샘플수를 효율적으로 추정하고 정밀도를 높일 수 있다. 그러므로 본 논문에서 제시한 혼합모형을 압축공기의 변화량 데이터에 적용하면 VSD의 평균 전력을 절감할 수 있을 뿐 아니라 식 5에서처럼 시스템 용적을 최소화시켜 초기 설치 비용 및 운영비용을 절감할 수 있다.

IV. 결 론

공기 압축기는 미국 산업용 전기의 약 30%를 점유하는 가장 큰 소비에너지원 중 하나이다. 이에 따라 공기 압축기의 소비 전력을 효율적으로 줄일 수 있는 고급화된 기술 방안들이 중요한 역할을 하고 있다. 소비전력은 적절한 범위 내에서 압력 조절을 할 때 절감효과가 크므로 압축공기 변화량의 예측이 매우 중요하다. 따라서 압축공기량의 변동에 대한 통계적 분포 특성 분석으로 효율적인 시스템 설계를 할 수 있다.

본 논문에서는 VSD의 압축공기 변화량 데이터를 두 개의 영역으로 나누어 혼합 분포함수를 제시하였다. 이 분포는 정규분포와 일반 파레토분포를 $u=0.007(m^3/sec)$ 값을 기준으로 구분하고 데이터를 이분화하여 적용한 혼합분포이다. 이 혼합모형을 이용하여 VSD 타입 공기 압축기의 압축공기 변화량을 조절하면 평균 전력을 절감할 수 있을 뿐 아니라 시스템 용적을 최소화 하여, 연간 운영비에서 가장 큰 영향을 미치는 공기압축기의 적정용량 및 시스템 설계에 활용될 수 있다.

향후에는 이 분포를 이용하여 VSD와 FSD 공기압축기에 대한 복합 시뮬레이션 연구를 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by the project 20142020104070 of KETEP (Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning). We thank people from KETEP for invaluable contributions.

REFERENCES

- [1] Energy Tips: Compressed Air, U.D.o. Energy, Editor August, 2004 Available: <https://www.compressedairchallenge.org/library/tipsheets/tipsheet01.pdf>
- [2] “Thechnology Trend of Air Compressor” Advanced Information analysis Report KiSTi-173.
- [3] S. Mousavi, S. Kara, and B. Kornfeld, “Energy Efficiency of Compressed Air Systems,” in 21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering, *Procedia CIRP* 15, pp. 313-318, 2014.
- [4] C. Schmidt, and K. Kissock, Modeling and Simulation of Air Compressor Energy Use, 2005 Available:http://aceee.org/files/proceedings/2005/data/papers/SS05_Panel01_Paper13.pdf
- [5] O. K. Kwon, “The characteristic and reduction factor of Air compressor,” *Atlas Copco Presentation Paper for Energy Diagnostic Company*, Aug. 2006.
- [6] Wo-Chiang Lee, “Modeling Large Claims in Non-Life Insurance-Evidence from Automobile Physical Damage,” in *Conference on Behavioral Finance & Emerging Markets*, 2009.
- [7] Y. Yamai and T. Yoshiba, “Comparitive analyses of expected shortfall and value-at-risk under market stress,” *IMES Discussion Paper No 2002-E-2*, Bank of Japan, 2002.
- [8] G. Quartarone, N. Anglani, and S. Riveriso, “Model Predictive Control: first application of a novel control strategy for adjustable speed drive compressors,” in *Industrial Electronics Society, IECON 2013 - 39th Annual*

Conference of the IEEE, pp. 7892-7896, 2013.

- [9] J. A. Villasenor-Alva, and E. Gonzalez-Estrada, "A bootstrap goodness of fit test for the generalized Pareto distribution," *Computational Statistics and Data Analysis*,

vol. 53, Issue 11, pp. 3835 - 3841, Sep. 2009.

- [10] W. N. Venables, and D. M. Smith "An Introduction to R", 2013.



심재용(JaeRyong Shim)

1987년 동국대학교 전자공학과(학사)
1991년 미국 미주리 주립대 전기컴퓨터 공학과 (석사)
1993년 미국 미주리 주립대 통계학 (석사)
1995년 미국 미주리 주립대 전기컴퓨터 공학과 (박사)
1995년 ~ 1999년 한국전자통신연구원 이동통신연구단
1999년 ~ 현재 ㈜ 베탭 기술고문
※관심분야 : 공기압축기 전력절감, Wearable Device 번복조기술, Decision Making



김용철(Yong-Chul Kim)

1985년 경희대학교 수학과(학사)
1994년 미국 미주리 주립대 통계학 (박사)
1995년 ~ 1996년 통계청 사무관
1996년 ~ 현재 용인대학교
※관심분야 : 통계모델, 시스템 분석



노영빈(Young-Bin Noh)

2010년 순천향대학교 소프트웨어공학과(학사)
2010년 ~ 현재 ㈜ 베탭 선임연구원
※관심분야 : 공기압축기 전력절감, 센서 퓨전, 빅 데이터, 에너지 관리 시스템, .NET 프로그래밍, SCADA 프로그래밍



정회경(Hoe-kyung Jung)

1985년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학사)
1987년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
1993년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
1994년 ~ 현재 배재대학교 컴퓨터공학과 교수
※관심분야 : 멀티미디어 문서정보처리, XML, SVG, Web Services, Semantic Web, MPEG-21, Ubiquitous Computing, USN , IoT