

K5 방독면 공정품질 수준에 관한 연구

김석기^{1*}, 변기식¹, 이상엽¹, 박재우¹, 인치연²
¹국방기술품질원 전투물자센터, ²한컴라이프케어 품질본부

A Study on the Process Quality Level of K5 Gas Mask

Suk Ki Kim^{1*}, Kisik Byun¹, Sang Yeob Lee¹, Jae Woo Park¹, Chi Yeon In²

¹Combat Materiel Center, Defense Agency for Technology and Quality (DTaQ)

²Head of Quality Planning office, HANCOM LIFECARE

요약 본 연구는 최근 전력화가 완료되어 양산이 진행 중인 K5 방독면에 대한 공정품질 수준을 평가하기 위하여 통계적 공정관리 기법을 활용하여 양산 단계 및 로트 별 분석을 수행하였다. 렌즈의 접착강도는 K5방독면의 기술적 요구사항 중 유일하게 생산 공정 간 평가하는 항목으로, 초도 및 2차 양산간 획득된 고무안면부와 렌즈 사이의 접착정도를 측정된 시험결과를 바탕으로 기술통계 및 통계적 공정관리 기법을 적용하여 분석하였다. 기술통계 분석결과에 따르면 초도 양산 대비 2차 양산 공정에 대한 결과가 더 좋음을 나타내고 있었다. 통계적 공정관리 기법인 관리도 분석과 공정능력지수에 대한 양산 단계 별 분석결과, 공정품질 수준 또한 양산이 진행됨에 따라 향상되고 있음을 확인 할 수 있었다. 이는 공정이 점차 안정화 되고 업무 숙련도에 의해 개선이 되고 있음을 보여주고 있었다. 이에 초도 및 2차 양산 간 획득된 성능시험 결과를 바탕으로 향후 3차 양산을 위한 기초자료로서 활용하고자 한다. 더불어 린6시그마의 DMAIC [Define(정의)-Measure(측정)-Analyze(분석)-Improve(개선)-Control(관리)] 방법론을 통해서 K5방독면의 품질향상 등의 목표달성을 수행할 예정이다.

Abstract This study investigated the process quality level of a K5 gas mask, which recently acquired its operational capability, through statistical process analysis for the mass production stages and their lots. The tensile adhesion strength was the only operating requirement in the manufacturing process of the K5 gas mask. For this purpose, the results of tensile adhesion strength between the lens and facial rubber during the initial and second mass production stages were analyzed using conventional statistical and statistical process analysis methods. The conventional statistical results indicated that the second mass production stage was better than the initial mass production stage. In cases of a control chart and process capability of tensile adhesion strength, the process quality level was also improved by following the mass production stages. The improvement was caused by process stabilization and work skill elevation. These results and methods are expected to be conducted and utilized in the third mass production stage. Moreover, quality improvement of K5 gas mask mass production can be achieved using the Lean 6 sigma procedure, MDAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control).

Keywords : K5 Gas Mask, Process Quality Assessment, Control Chart, Process Capability, Tensile Adhesion Strength

*Corresponding Author : Suk Ki Kim(DTaQ)

email: sk564@dtaq.re.kr

Received September 14, 2020

Accepted January 8, 2021

Revised October 8, 2020

Published January 31, 2021

1. 서론

방독면은 화생방 작용제로부터 얼굴, 눈, 호흡기 계통을 보호하기 위하여 사용하는 개인 보호장비로 정화통, 안면부, 보호두건, 휴대주머니로 구성되어 있다[1]. K5 방독면은 미래전장환경에 대응하기 위하여 기존 K-1, KM24, KM25 방독면의 제한사항을 해소하여 전투효율성 및 생존능력 강화를 위해 개발되었다. (Fig. 1)



Fig. 1. Gas masks for ROK armed forces. (a) K-1 (b) KM24 (c) KM25 and (d) K5.

특히, 기존 방독면 대비 넓은 시야를 제공함은 물론이고 일반, 전차, 항공용으로 구분되어 있던 방독면을 통합하여 전투효율성을 극대화 하였다. 또한 작용제 방호시간 증가와 통기저항 개선, 기밀성능 향상 등을 통해서 착용자의 생존능력을 강화하였으며 그에 대한 주요성능은 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of K-1 and K5 gas masks

Category		K-1 Gas Mask	K5 Gas Mask	
Weight (g)		Less than 000	Less than 000	
Protection Factor		More than 0,000	More than 00,000	
Inhalation Resistance (mmH2O)		Less than 00	Less than 00	
Filter Performance	Particles (%)	More than 00.00	More than 0.00	
	Gas	Nerve Agent (min)	More than 000	More than 000
		Blood Agent (min)	More than 00	More than 00

K5 방독면은 업체주관 연구개발 사업으로 (주)한컴라이프케어(舊 (주)산청)에서 지난 2010년에서 2014년 동안 체계개발을 진행하였으며, 전투용 적합 판정 이후 2015

년부터 2018년까지 초도 및 2차 양산을 완료하였고, 2019년부터는 3차 양산을 진행 중에 있다.

K5 방독면 완성품에 대한 국방규격인 KDS 4240-4009에서는 22항목의 기술적 요구조건에 대한 검사를 명시하고 있다[2]. 그 중 「렌즈의 접착강도」는 중결점 항목으로 분류되어 공정 중 검사를 실시하게 되며, 고무 안면부와 렌즈 사이의 접착정도를 측정하여 해당 로트에 대한 합/부 판정을 수행하게 된다. 규정된 접착강도는 사용자의 운용 간 접착부위를 통한 누출을 방지하고자 사용되는 중요한 품질기준이다.

기존의 K-1 방독면 완성품에 대한 국방규격인 KDS 4240-1033에서는 6항목의 기술적 요구조건에 대한 검사를 명시하고 있다[3]. 하지만 해당 기술시험 항목들은 완성품에서만 품질적합성 검사를 수행하게 되어 공정 중 로트 합/부 판정이 불가 할 뿐 아니라 공정 진행 간 방독면에 대한 품질수준을 평가하는데 제한사항이 발생하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 통계적 공정관리(Statistical Process Control, SPC) 기법을 적용하여 K5 방독면 공정에 대한 공정품질수준을 평가하고자 하였다. 통계적 공정관리는 ① 공정을 관리상태 유지하고, ② 생산된 제품이 규격 요구조건을 충족하도록 공정을 관리하는 활동[4]으로 정의되며, 각각 관리도와 공정능력분석을 통해 공정관리를 달성하는 것을 주목표로 하고 있다. 민간분야와 마찬가지로 군수분야에서도 품질관리를 위하여 통계적 공정관리 기법을 적용하고 있는데, X-관리도[5]와 공정능력분석[6] 등이 다양한 분야에 적용되고 있다.

K5 방독면에 대한 통계적 공정관리는 초도 및 2차 양산 간 획득된 성능시험 결과를 바탕으로 K5 방독면 고무 안면부-렌즈 접착 공정에 대한 공정품질 수준을 관리도와 공정능력분석을 통해 평가하였고, 이를 3차 양산 품질관리를 위한 기초자료로서 활용하고자 하였다.

2. 실험방법 및 결과

2.1 연구방법

본 연구과정은 방독면의 안면부로부터 Fig. 3 과 같이 시편을 채취하여 환경 처리 후 만능재료시험기를 이용하여 인장강도를 통해 접착강도를 측정하였다. 이를 통하여 획득한 데이터는 기술통계 및 통계적 공정관리 기법을 적용하여 분석하였다. (Fig. 2)

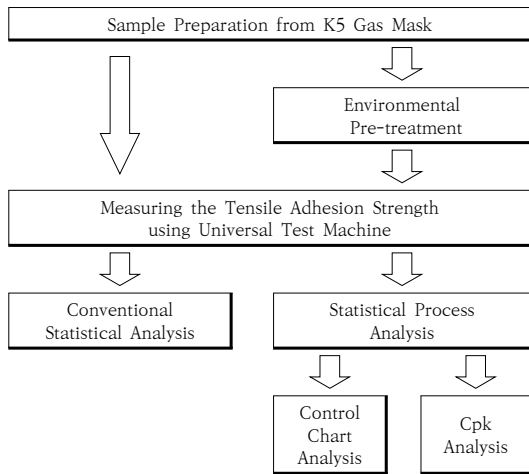


Fig. 2. The schematic diagram of research process.

2.1.1 접착강도

렌즈의 접착강도는 시험편의 크기를 접착부위 25 mm ± 2 mm, 길이 50 mm ± 10 mm 인 직사각 형태로 고무 안면부와 접착부위가 각각 절반씩 위치하도록 방독면 1개 당 4개씩 절단하여 채취하였다. (Fig. 3) 채취된 시료 중 3개를 각각 1개씩 노화, 내후, 내한 처리를 수행하고, 전처리 시료 1개를 포함하여 접착강도 시험을 수행하였다. 접착강도는 KS M ISO 37[7]에서 규정된 시험장치를 사용하여 분당 300 mm ± 50 mm의 인장속도로 시험하였다.

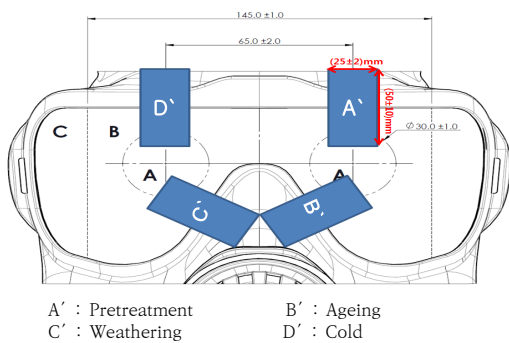


Fig. 3. Test sample preparation

2.1.2 환경처리

노화처리는 시료를 KS M ISO 188[8]에 따라 100 °C ± 1 °C, 72 시간 처리하였다. 내후처리는 KS M ISO 4892-2[9]에 따라 처리하였으나, 폭로시간은 100.0시간

± 0.5시간으로 하고 폭로조건은 Table 2와 같이 처리하였다. 내한처리는 시료를 -45 °C ± 5 °C에서 12시간 ± 0.5시간 저온처리 하였다. 모든 환경처리 이후 접착강도 시험은 시료를 상온에서 안정화 시킨 후 수행하였다.

Table 2. Experiment parameters for the weathering condition

Parameters	Specifications	
Exposure period	102 minute dry / 18 minute spraying	
Irradiance	Broad Band (300 nm to 400 nm)	Narrow Band (340 nm)
	60 ± 2 W/m ²	0.51 ± 0.02 W/(m ² nm)
Black panel temperature	63 ± 0.5 °C	
Chamber temperature	38 ± 3 °C	
Relative humidity	50 ± 10 %	

2.1.3 데이터 분석

접착강도 시험 및 분석 대상은 총 11개 로트이며, 각 각 초도 양산 5개 로트, 2차 양산 6개 로트로 구성되어 있다. 시험은 한국건설생활환경시험연구원에서 진행하였으며, 로트 별 16개의 측정데이터가 도출되었다. 시험에 사용된 모든 분석결과는 통계소프트웨어인 MINITAB을 통해 산출하였다.

2.2 시험결과 분석

2.2.1 기술통계 분석

접착강도 시험결과를 분석하기 위해서 가장 먼저 데이터의 중심위치를 수치화하여 분석하였다. 중심위치 수치화에는 산술평균(mean)과 중앙값(median)을 활용하였는데, 측정값이 동일 로트 내에서 큰 편차를 보이고 있었기 때문에 두 결과 값의 비교를 통해 데이터의 중심위치를 확인하고자 하였다. 산술평균의 경우에는 각 로트별 측정값 중 최댓값과 최솟값을 제외한 산술평균을 계산했으며, 큰 편차에서 기인한 산술평균의 왜곡을 확인하고자 중앙값을 함께 비교해 보았다. (Fig. 4)

분석결과, 산술평균과 중앙값 간 차이는 2.6 % 내로 큰 차이를 보이지 않았으며, 모든 시험 조건에서 초도 양산 대비 2차 양산에서 높은 접착강도를 보여주고 있었다. 이를 좀 더 정확하게 분석하기 위해서 양산단계의 진행에 따른 관리도 분석을 통해서 각 단계별 공정 상태를 확인하고자 하였다.

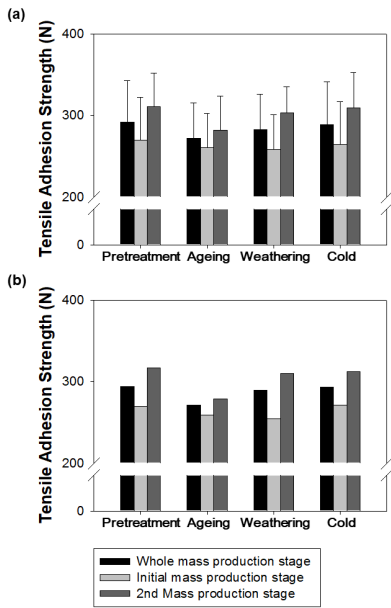


Fig. 4. Tensile adhesion strength results for pretreatment and ageing, weathering and cold conditioned samples. (a) mean of whole and each mass production stages with standard deviation. (b) median of whole and each mass production stages.

Table 3. Tensile adhesion strength results.

Condition		Tensile Adhesion Strength (N)		
		Initial Production Stage	2nd Production Stage	Whole Production Stage
Average	Pretreatment	269.4	310.8	291.9
	Aging	260.5	281.7	272.1
	Weathering	257.8	303.4	282.7
	Cold	264.0	309.0	288.6
Median	Pretreatment	269.5	317.0	294.0
	Aging	259.0	278.5	271.5
	Weathering	254.5	310.0	289.0
	Cold	271.0	312.0	293.5

환경시험에 따른 접착강도의 영향성은 전처리 대비 노화의 경우 93.2 % (중양값의 경우 92.3 %), 내후는 96.8 % (중양값의 경우 98.3 %) 그리고 내한의 경우에는 98.8 % (중양값의 경우 99.8 %) 수준의 부착강도를 보여주고 있었다. 환경시험 중에서 노화 시험의 경우 접착강도에 가장 큰 영향성을 미치는 것으로 나타났는데, 이는 노화 시험 자체의 목적이 고온에 대한 축진 노화를 통해 짧은 시간에 자연노화의 효과를 평가하는 것이기 때문에 가장 낮은 결과를 보여주는 것으로 판단할 수 있었다. (Table 3)

2.2.2 $\bar{X}-s$ 관리도 분석

앞서의 기술통계 분석결과에 따르면, 초도 양산 대비 2차 양산 제품에 대한 시험결과 높은 접착강도를 보여주고 있었는데, 관리도 분석을 통해서 공정평균과 산포에 의한 공정 상태를 확인하고자 하였다. Fig. 5는 초도 양산 5개 로트, 2차 양산 6개 로트의 총 11개 로트에 대한 관리도 산출결과이다.

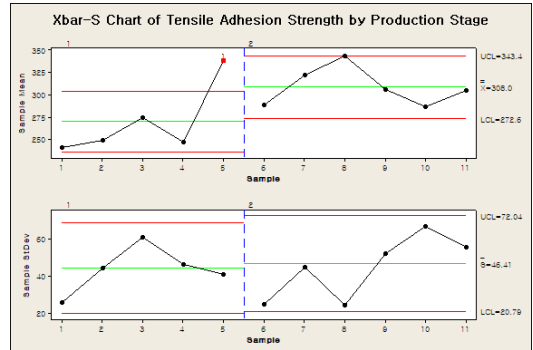


Fig. 5. $\bar{X}-s$ Chart of tensile adhesion strength by each production stages for pretreatment. Blue dashed line(- -) indicates boundary of production stages.

관리도 산출결과, 기술통계 분석에서와 마찬가지로 중심선이 실제로 초도 양산 대비 2차 양산에 있어서 더 높은 상태임을 확인 할 수 있었다. 다만, 초도양산 마지막 5로트에서 관리 한계선 UCL을 벗어나는 것을 확인 할 수 있었는데, 이는 양산이 진행됨에 따라서 점차 공정이 안정되고 작업자의 숙련도가 증가함에 의해 기인된 것으로 판단되며, 2차 양산에서 그 수준이 지속적으로 유지되는 것을 확인 할 수 있었다. 특히, 실제 공정 불량률의 경우에도 공정이 점차 안정화 되면서 기존의 0.0 % 수준에서 0.0 % 수준으로 감소하였기에, 상기 데이터에 대한 분석결과를 뒷받침 하는 것으로 확인되었다.

2.2.3 공정능력지수 분석

공정능력지수는 공정이 관리 상태에 있을 때 해당 공정에서 생산되는 제품의 품질변동이 어느 정도 인지를 나타내는 정량적 지표로서, 공정능력의 범위에 따라 공정 능력에 대한 등급을 평가하게 된다. (Table 4) 접착강도의 경우 규격하한만 존재하는 한쪽 규격이므로 공정능력에 대한 기준은 한쪽 규격에 대한 기준을 적용하여 판단 하였다.

Table 4. Rating standard table of C_{pk}

Grade	Evaluate	C _{pk} (Two-sided specification)	C _{pk} (One-sided specification)
A+	Excellent	C _{pk} ≥ 1.67	C _{pk} ≥ 1.60
A	Good	1.33 ≤ C _{pk} < 1.67	1.25 ≤ C _{pk} < 1.60
B	General	1 ≤ C _{pk} < 1.33	1 ≤ C _{pk} < 1.25
C	Poor	0.67 ≤ C _{pk} < 1	0.60 ≤ C _{pk} < 1
D	Unacceptable	C _{pk} < 0.67	C _{pk} < 0.60

확인결과, 초도 양산은 B 등급(General), 2차 양산은 A 등급(Good)을 보여주고 있었으며, 전체 양산 단계의 공정능력은 A등급(Good)을 나타내고 있었다. 앞서의 기술 통계 분석과 관리도 분석 결과와 마찬가지로 양산 단계가 진행됨에 따라서 점차 공정이 안정화 되고 있음을 정량적으로 파악 할 수 있었으며, 특히 양산 단계가 진행됨에 따라서 공정능력 등급이 상향하였음을 확인할 수 있었다. (Table 5)

Table 5. C_{pk} of tensile adhesion strength

Process capability	Initial Production Stage	2nd Production Stage	Whole Production Stage
C _{pk}	1.17	1.35	1.29

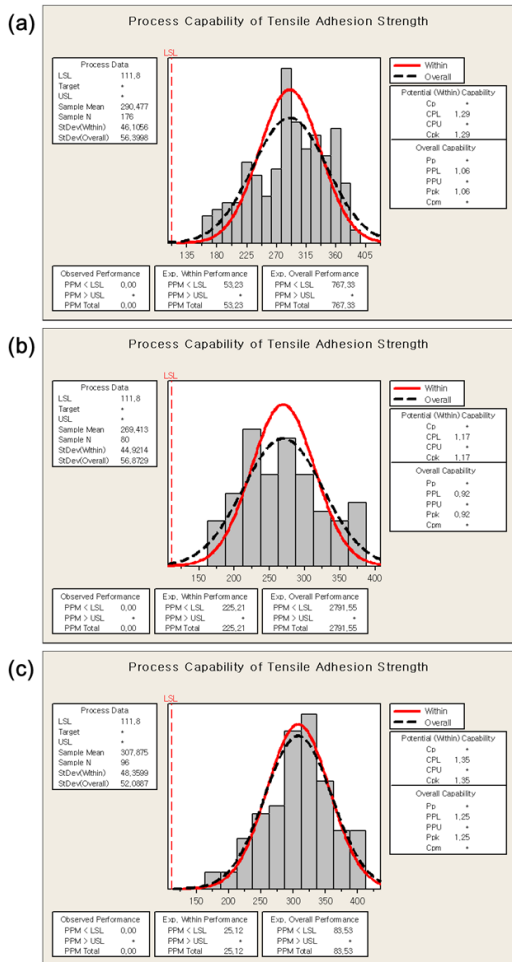


Fig. 6. Process capability of tensile adhesion strength by (a) whole, (b) initial and (c) 2nd mass production stages for pretreatment.

Fig. 6에서는 초도 및 2차 양산 그리고 전체에 대한 공정능력지수 산출결과이다. C_{pk}를 통한 공정능력 등급

3. 결론

방독면은 방호무기체계 중 하나로서, 착용자의 생명과 안전에 직결된 품목이다. 따라서 모든 기술적 요구조건을 만족하기 위해서는 안정적인 공정관리 능력이 필수적으로 요구된다. 이에 본 연구에서는 최근 전력화 후 양산 중인 K5 방독면에 대한 공정관리 수준을 평가하기 위하여 국방규격 KDS 4240-4009의 기술적 요구 조건 중 공정 간 평가 항목인 렌즈의 접착강도에 대한 로트별 시험결과를 바탕으로 기술통계 및 관리도 그리고 공정능력 지수를 통해 분석하였다. 분석결과, 모든 지표에 있어서 초도 양산 대비 2차 양산의 공정능력이 향상되고 있음을 확인할 수 있었다.

이러한 결과를 바탕으로, 향후 3차 양산에서는 품질개선 방법론 중에서도 린6시그마의 DMAIC [Define(정의)-Measure(측정)-Analyze(분석)-Improve(개선)-Control(관리)] 방법론[10]을 통해서 양산단계 주요 프로세스 최적화를 통한 품질향상, 비용절감, 고객만족 등의 목표달성을 수행할 예정이다.

References

[1] Defense Science and Technology Dictionary, p. 2047, Defence Agency for Technology and Quality, 2017, p.468.
 [2] KDS 4240-4009 Mask, Chemical-Biological, Defense

Aquisition Program Administration, 2019.

- [3] KDS 4240-1033 Mask, Chemical-Biological : Field, K-1, Defense Aquisition Program Administration, 2018.
- [4] J. D. Kim, K. Jang, "Statistical Quality Management using MINITAB", Freedom Academy Pub. Co. 2010.
- [5] J. H. Oh, "A Study on Improving the Quality Assurance Activities of Raw Materials for Functional Combat Boots through X-control Chart Analysis", *Proc. Spring Conference of J. Korean Soc. Qual. Manag.*, pp. 182, Oct. 2018.
- [6] K.-B. Ku, J.-W. Kwon, H.-S. Jin, "A Study on Searching Stabled EMI Shielding Effectiveness Measurement Point for Military Communication Shelter using Support Vector Machine and Process Capability Analysis", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 20, No. 2, pp. 321-328, Feb. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.2.321>
- [7] KS M ISO 37 Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of tensile stress-strain properties, Korea Agency for Technology and Standard, 2017.
- [8] KS M ISO 188 Rubber, vulcanized or thermoplastic - Accelerated ageing and heat resistance test, Korea Agency for Technology and Standard, 2014.
- [9] KS M ISO 4892-2 Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources - Part 2: Xenon-arc lamps, Korea Agency for Technology and Standard, 2017.
- [10] George, Michale, L. Lean Six Sigma : Combining Six Sigma Quality with Lean Speed, McGraw-Hill, 2002.

김 석 기(Suk Ki Kim)

[정회원]



- 2016년 8월 : 서울과학기술대학교 화공생명공학 (공학사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방품질경영(화학/화생방 분야)

변 기 식(Kisik Byun)

[정회원]



- 2013년 2월 : 한양대학교 전자통신 컴퓨터공학부 (공학사)
- 2015년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

마이크로파 회로, 국방품질경영(전자/통신 분야)

이 상 엽(Sang Yeob Lee)

[정회원]



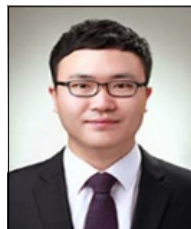
- 1984년 1월 : 경기공업대학교 정밀측정과
- 1988년 4월 ~ 현재 : 국방기술품질원 책임기술원

<관심분야>

국방품질경영(화학/화생방 분야)

박 재 우(Jae Woo Park)

[정회원]



- 2009년 8월 : 서울대학교 화학생물공학부 (공학석사)
- 2015년 2월 : 서울대학교 멀티스케일기계설계전공 (공학박사)
- 2015년 3월 ~ 8월 : 서울대학교 정밀기계설계연구소 박사 후 연구원

- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

국방품질경영(화학/화생방 분야)

인 치 연(Chi Yeon In)

[정회원]



- 2007년 8월 : 경기대학교 대학원
분석화학 (이학석사)
- 2001년 6월 ~ 현재 : ㈜한컴라이
프케어 품질본부장

〈관심분야〉

개인안전장비(방독면, 공기호흡기, 보호복 등)

국방품질경영(화학/화생방 분야)