

신뢰성분석을 통한 진공을 이용한 이동형 누출시험기 개발

이영우, 배만재*
국방기술품질원

A Study for the Development of A Movable Leakage Tester By Creating Vaccum Through Reliability Analysis

Young Woo Lee, Man Jae Bae*
Defense Agency for Technology and Quality

요 약 화생방물자는 적군의 화학 공격 및 테러전에 대비해 생명을 보호할 수 있는 방어수단으로 군의 생존과 전투력 유지에 필수적인 무기체계이다. 최근 연구에 의하면 2007년부터 2023년까지의 CSRP 시험결과, 저장 기간이 경과함에 따라 제품에서 포장누출이 발생하는 비율이 증가하고 있으며, 또한 누출시험이 여러 요인 중 침투성보호의 저장 수명 연장여부에 가장 큰 영향을 미치는 항목으로 밝혀졌다. 침투성보호의 단위포장에 누출이 발생하면 해당 제품은 더 이상 전투용으로 운용되지 못하고 교육용 등으로 전환하여 운용하게 되며, 신품교체 등에 따른 운용비용 증가의 요인이 된다. 본 논문에서는 현용 누출시험의 제한사항을 극복하기 위하여 진공을 이용한 현장 측정 가능한 누출시험기를 개발하고, 신뢰수준을 이용하여 누출시험기의 적정구간을 산출하는 법을 제시한다.

Abstract Chemical and biological materials are a means of defense that can protect life from enemy chemical attacks and terrorist warfare and are a weapon system essential for the survival and maintenance of the combat power of the military. According to a recent study, the CSRP test results from 2007 to 2023 showed that leakage testing has the greatest influence among several factors on whether or not the shelf life of permeability protection is extended. The rate of packaging leakage from the product increased as the storage period elapsed. If a leak occurs in a chemical protective suit, the product can no longer be used for combat purposes and is converted to use for educational purposes, which is a factor in increasing the operating costs due to the replacement of new products. Accordingly, this study developed a leak tester capable of field measurements using a vacuum to overcome the limitations of current leak tests. This paper presents a method for calculating the appropriate interval using a confidence level.

Keywords : CSRP, Chemical Protective Suit, Leakage Test, Shelf-Life, Reliability

1. 서론

화생방물자는 적군의 화학 공격 및 테러전에 대비해 생명을 보호할 수 있는 방어수단으로 군의 생존과 전투력 유지에 필수적인 무기체계이다. 이처럼 전투력 보장을 목적으로 비축 및 저장된 화생방물자는 오랜 기간 저

장될 수 있다. 장기 저장중에 화생방 물자는 화학성분의 변화나 물성의 저하로 제품의 성능을 유지하지 못하고 열화가 일어난다[1]. 이러한 이유로 화생방물자들은 품목 특성에 따라 품목별로 저장수명을 설정하여 운용하고 있다. 저장 수명이 초과되면 성능 발휘여부를 평가하여 계속 저장을 하거나 폐기 등으로 관리하고 있다. CSRP(Chemical

*Corresponding Author : Man Jae Bae(Defense Agency for Technology and Quality)

email: mjbae@dtaq.re.kr

Received October 23, 2023

Accepted January 5, 2024

Revised November 24, 2023

Published January 31, 2024

materiel Stockpile Reliability Program)는 군에서 장기간 저장중인 화생방 장비·물자의 성능보장을 위한 프로그램으로, 이를 통해 화생방장비물자의 수명연장, 불출, 폐기 등 효율적 운용방안을 제시하는 경제적 기술평가 제도의 하나이다.

1.1 침투성보호의

화생방 상황 및 테러 목적으로 사용되는 화학작용제 중에서 신경작용제(nerve agents)와 수포작용제(vesicating agents)의 경우 액체상태로 피부에 오염될 경우 극소량에 의해서도 사망에 이를 수 있다[2]. 침투성 보호의는 화생방전 하에서 화학작용제(신경, 수포)가 피부에 침투되는 것을 보호하기 위하여 사용된다. 침투성보호의는 공기 중의 각종 화학작용제를 물리적으로 차단하는 외피와 흡착작용을 하는 내피로 구성되어 있으며, 작용원리는 다음과 같다. 외피는 액체형태로 침투하는 화학작용제를 일차적으로 방호하는 것으로 액체 발유도/발수도 성능을 발휘하는 고분자복합체(탄소불소계열)를 섬유에 코팅하여 액체형태의 화학작용제를 방호하는 원리이며, 내피는 활성탄이 침착되어 있는 폴리우레탄폼 형태로 기체 형태로 침투하는 화학작용제를 흡착하여 방호하는 원리이다[2-4].

1.2 저장수명 영향인자

침투성 보호의에 대한 최근 연구에 의하면 2007년부터 2023년까지의 CSRP 시험결과, 저장 수명 연장여부에 영향을 미치는 항목중 누출시험은 62.1%로 Table 1에서 보는 바와 같이 관련 항목 중 가장 높은 발생비율을 차지하고 있다[5,6].

Table 1. Major Factor for Discard[5]

Test item	Package leakage	CCl ₄ absorption	nerve agents	vesica ting agents
Total	64	18	15	6

저장 기간 경과에 따라 전체 시험로트 대비 포장누출이 발생한 비율도 아래 Fig. 1과 같이 증가함을 알 수 있다[7]. 침투성보호의에 누출이 발생하면 해당 제품은 더 이상 전투용으로 운용되지 못하고 교육용 등으로 전환하여 운용하게 되며, 신품교체 등에 따른 운용비용 증가의 요인이 되므로 이에 대한 대책 마련이 시급한 실정이다.

또한, 아래 Fig. 2에서 보는 바와 같이 침투성보호의의 누출시험 부적합률은 '21년 이후 급격히 증가하고 있어서 이에 대한 대책마련이 시급한 실정이다.

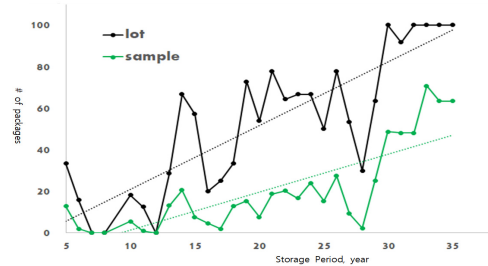


Fig. 1. Relationship Between Rate of Package leakage and Storage Period

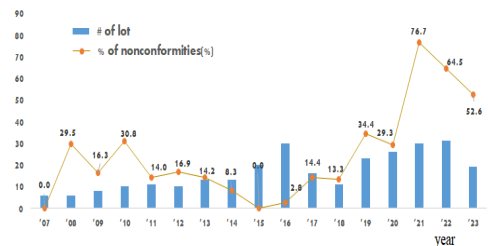


Fig. 2. Nonconformity Rates for Leakage Test by year

1.3 온수에 의한 누출시험법

현재 제품규격에서 요구하는 방법인 온수에 의한 시험 방법은 Table 2와 같으며, 현 규격을 만족시키는 시험기는 Fig. 3과 같다. 현용 온수시험법은 시험기의 후대가 곤란(무게 80 kg, 크기(mm) 1060 x 510 x 570)하여, 시료채취 시 육안으로만 확인하는 관계로 누출이 발생한 보호의가 CSRP 수행시 혼입되어, 시료 채취에 따른 시험일정과 시험비용 증가의 주요한 원인이 되고 있다. 이에 따라 후대가 가능하고 현장에서 측정가능한 별도의 누출시험기가 필요한 상황이다. 본 논문에서는 현용 누출시험의 제한사항을 극복하기 위하여 진공을 이용한 현장 측정 가능한 누출시험기를 개발하고, 신뢰수준을 이용하여 적정구간을 산출하는 법을 제시한다.

본 논문에서 제시하는 진공을 이용한 누출시험법은 관련 자료 조사결과 국내에서는 처음 시도하는 방법으로서 향후 관련업무 수행에 많이 도움이 될 것으로 기대된다.

Table 2. Present Leakage Test Method

spec.	Method
STP 8415-0010	<ul style="list-style-type: none"> - keep the specimen for more than 4 hrs at room temp(20 ℃ ~ 30 ℃) - submerge the specimen in water heated to at least 110 ℉(43 ℃) with the uppermost surface covered not more than 1 inch of water - add the vacuum pressure to $9 \pm 1 \text{ mmHg}_0$ - introduce air until either the prescribed pressure in the specimen is attained or leakage becomes apparent

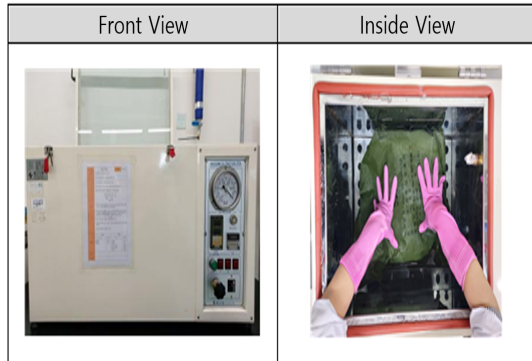


Fig. 3. Present Leakage Tester

2. 연구방법 및 재료

2.1 연구설계

밀폐된 공간 내 유체의 압력은 모든 방향, 모든 면에 동일한 크기로 작용하는 파스칼의 원리를 이용한다. 시료를 용기에 넣고 밀폐시킨 후 진공펌프를 이용하여 내부 압력을 낮추면 시료 내부에 작용하는 압력과 외부에 작용하는 압력이 동일한 크기로 작용하려는 성질에 의해 시료는 팽창한다.

본 과제 수행을 위해 Fig. 4와 같은 시험기를 제작하였다. 왼쪽은 Control Box, 오른쪽은 거리센서가 부착된 case이다. case에 보호의 시료를 넣고, 상부 뚜껑을 닫고 클램핑한다. Control Box 화면에서 시작버튼을 누르면 진공펌프에 의해 case내부에 진공이 형성되며, 이때 시료는 팽창하게 된다. 설정된 거리까지 시료가 팽창하면 압력펌프의 작동은 중단되며, 일정시간 유지하면 누출이 발생하는 시료와 발생하지 않는 시료간에 변화량에 차이가 발생하며 이 때 발생된 변화량을 거리측정센서로 측정하여 화면에 전시하면, 그 값을 기록한다.

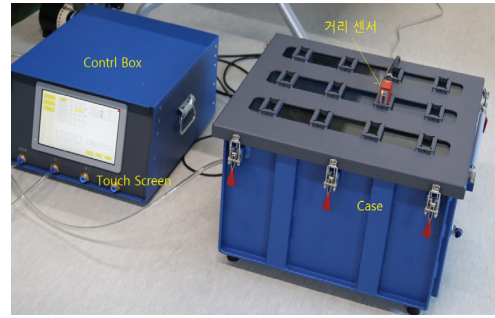


Fig. 4. Leakage Tester

2.2 진공을 이용한 누출시험기의 구성

누출시험기 개발을 위해 시스템 구성을 Fig. 5와 같이 Control Box, 진공펌프, 거리측정센서 및 시험용기 등과 같이 한다. 단, 프린터와 노트북, 온도도센서, 추가 시험용기는 고객의 요구가 있거나 필요시 추가할 수 있다.

누출시험기 주요 구성품의 세부사양은 Table 3과 같다. 압력센서는 Control Box안에 설치되어 있다.

Table 3. Components' Specification of Leakage Tester

No	Item	Specification
1	Case	-Size(WxLxH, mm) : 608 x 542 x 385 -Material : A5052 -Weight : 26.5 Kg
2	Pressure sensor	-Measurement range : 0 ~ 110 kPa -Accuracy : 0.5 % -Output : 1~5 VDC -Ambient temp : -20 ~ 80 ℃ -Standard applied : CE, IP55
3	Laser sensor	-Measurement range : 20 ~ 500 mm -Resolution : 0.1 ~ 0.5 mm -Max output power : 1.2 mW -Response time : 20 ms -Operating voltage : 10 ~ 30 VDC -Ambient temp : -40 ~ 50 ℃ -Standards applied : IEC 60947-5-2
4	Pump	-HP : 1 HP/1720 RPM -CFM : 9 CFM -Operating temperature range: : -20℃ ~ 80 ℃ -Size(mm) : 395 x 145 x 257 -Power : 220 VAC -Min. pressure : 0.015 torr (0.002 kPa)
5	Touch screen	-CPU : 32bit ARM Cortex A9 1GHz -SDRAM : 1024MB -10.2 Inch

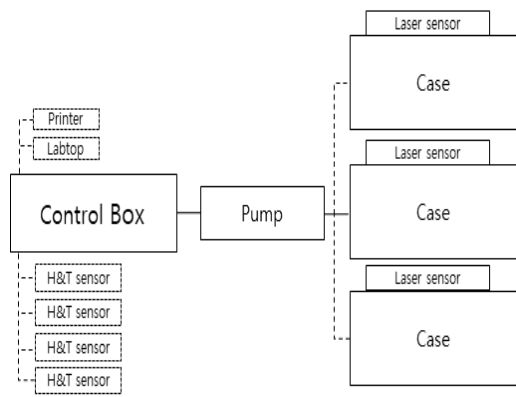


Fig. 5. Leakage Tester Diagram

2.3 시험시료

시험시료는 공군부대(00비행단)의 협조를 받아 Fig. 5와 같이 2010년도 7월에 제작/납품된 침투성보호의 30개를 사용하였다. 포장재 누출시험은 밀폐 포장되어 있는 침투성 보호의를 베리어백 상태에서 평가한다. 단, 침투성보호의는 제조공정에서 베리어백 포장시 공기를 많이 제거한 시료와 같은 형태 외에도 공기를 많이 제거하지 않는 형태도 있는데 이번 논문에서는 Fig. 5와 같은 형태의 보호의에 대하여만 주제로 다룬다.



Fig. 6. Chemical Protective Suits' Specimen

2.4 시험순서

- 가. 시험용기(Fig. 4)에 침투성보호의 1개를 투입한 후 상부 뚜껑을 닫고 클램핑한다.
- 나. 품목선택창에서 침투성보호의를 선택을 해서 시험을 시작한다.
- 다. 시험을 시작하면 용기내부에 진공이 형성되고 시료가 팽창한 상태에서 일정 시간 경과 후 수축되는 값을 거리측정센서가 읽고 그 값을 Control Box에 표시(저장)한다.
- 라. 시험 종료 후 Control Box 화면에 표시된 결과 값을 기록한다.

2.5 시험방법

시료 30개를 상온(25 °C)에서 각각 10번씩 시험하여 그때 발생하는 변화량(수축량, Fig. 7의 b)을 기록한다. 추가로 시료의 온도변화에 따른 변동가능성을 확인하기 위하여 0 °C, -20 °C로 온도처리 후 신뢰구간을 분석한다.

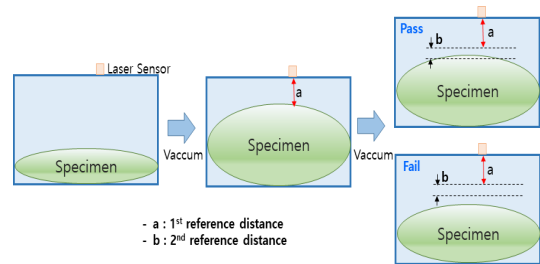


Fig. 7. Leakage Test method for Chemical Protective Suit

3. 시험결과

3.1 상온시험(25 °C) 결과

침투성보호의의 시료에 대하여 데이터를 확인하기 위하여 누출시험을 진행한 결과를 분석하면 Fig. 8 및 Table 4와 같다.

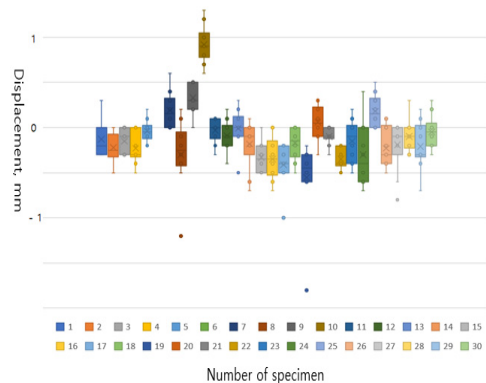


Fig. 8. test results(10 times for each specimen) at 25 °C for 30 Chemical Protective Suits

상온(25 °C)에서의 시험결과는 최대변화량 1.3 mm, 최소변화량 -1.8 mm, 표준편차 0.35의 결과를 획득하였다.

Table 4. Statistical Data at 25 °C

	25 °C
Mean	-0.13
S.D	0.35
Var	0.12
Max	1.3
Min	-1.8
Std. Err. of Estimate	0.02
Number of specimen	300

3.2 저온시험(0 °C, -20 °C)

보호의를 0 °C 와 -20 °C에서 시료별로 각각 1시간 온도처리 후 누출시험시 변형량을 측정한 결과 데이터를 확인하기 위하여 누출시험을 진행한 결과를 분석하면 Fig. 9 및 Table 5과 같다.

Table 5. Statistical Data at 0 °C & -20 °C

	0 °C	-20 °C
Mean	0.40	0.44
S.D	0.35	0.39
Var	0.12	0.15
Max	1.2	1.1
Min	-0.1	-0.1
Std. Err. of Estimate	0.06	0.07
Number of specimen	30	30

0 °C 에서의 시험결과는 최대변화량 1.2 mm, 최소변화량 -0.1 mm, 표준편차 0.35의 결과를 획득하였다. -20 °C 에서의 시험결과는 최대변화량 1.1 mm, 최소변화량 -0.1 mm, 표준편차 0.39를 획득하였다.

4. 실험결과

저온시험은 동절기 CSRP 시료 채취시에 보호의 누출 시험시 누출시험기에 미치는 영향유무를 확인하기 위하여 수행하였다. 만약에 저온에서 누출시험시 변형량이 상온시험결과와 차이가 크다면 누출시험기가 제대로 양품과 누출품을 구분해낼 수 없기 때문이다.

저온시험결과 최대변형량은 0 °C에서 1.2 mm이고, 평균변형량은 각각 0.40 mm(0 °C), 0.44 mm(-21 °C)로서, 시험기에서 정한 검출한계 이내(Fig. 7의 b)로서 동절기에도 보호의의 누출 여부를 충분히 검출해낼 수 있는 범위에 포함되는 걸 확인할 수 있었다.

상관관계 분석에서는 Table 6에서 보는 바와 같이 0 °C에서 0.59, -20 °C에서 0.24로 양의 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다. 하지만, 최대변동폭이 1.2 mm로서 무시해도 되는 수준인 것으로 판단된다. 즉, 각 온도별로 최대변화량이 1.1 mm ~ 1.3 mm로서, 상관관계에 의한 온도별 최대변동폭을 감안해도 검출한계내에 존재하는 값으로서 장비의 검출력에는 미치는 영향이 없을 것으로 예상된다.

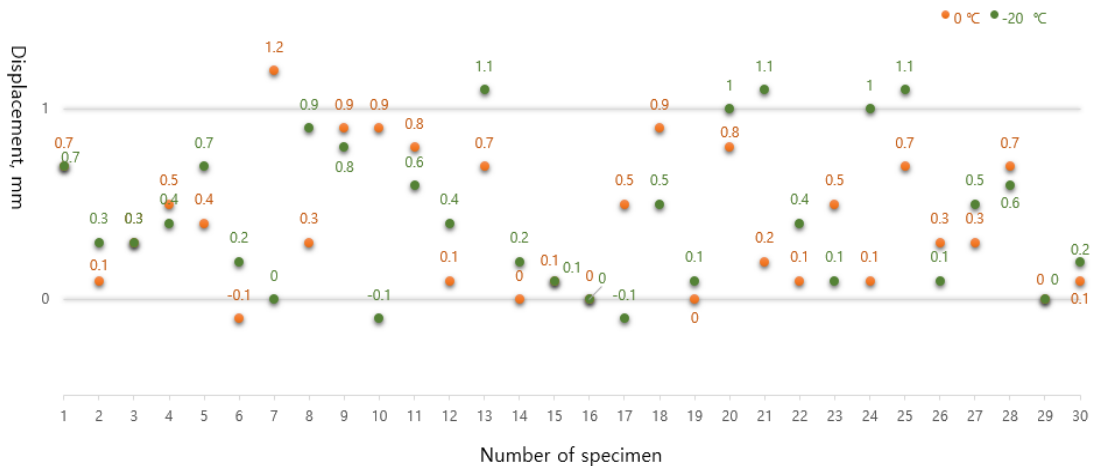


Fig. 9. Leakage test results at 0 °C & -20 °C for 30 Chemical Protective Suits

Table 6. Corelation Ratio of Leakage Tests for each Temp

	25 ℃	0 ℃	-20 ℃
25 ℃	1		
0 ℃	0.58569	1	
-20 ℃	0.116782	0.239783	1

5. 결론

본 연구에서는 침투성보호의에 대해 기존 온수 시험의 누출시험을 대체하기 위한 진공을 이용한 누출시험법의 도입을 위해, 신규 누출시험법에 대하여 상온과 저온시료의 3가지 조합으로 시험을 진행하여 결과를 비교하였다.

상온과 저온시험결과에 대하여 95% 신뢰구간 ($\bar{x} - 1.96 * \sigma / \sqrt{n}$, $\bar{x} + 1.96 * \sigma / \sqrt{n}$)을 산출하여 비교한 결과 Fig. 10에서 보는 바와 같이 모두 검출한계 내에 존재하여 신규시험법으로 도입가능함을 확인하였다.

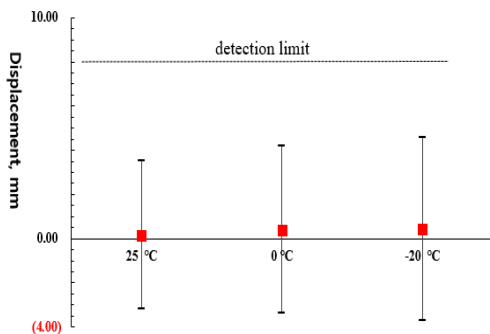


Fig. 10. Displacement plot for each temp with 95 % CI

현재 침투성보호의의 포장누출 시험은 치명결점 항목으로 관리하고 있다. 부적합된 로트 중 누출이 발생된 제품은 운영용 또는 교육용으로 전환하여 관리하고 부족분은 신품으로 교체하여야 한다. 누출시험은 관련항목 중 특히 CSRP 수행시 저장 수명 연장여부에 가장 많은 영향을 미치는 요소이다. 또한, 저장 기간이 경과함에 따라 전체 시험로트 대비 포장누출이 발생한 비율도 증가함에 따라 포장누출에 대한 현장 측정 가능여부는 균의 전력 유지를 위해서 필수적이라 할 수 있다.

본 논문에서는 CSRP 업무의 효율적인 수행과 이러한 균의 애로사항을 해결하기 위해서 현재 적용중인 온수시

험법의 제한사항을 극복하고 현장에서 측정가능한 누출 시험기 관련된 연구결과를 포함하였다. 특히, 상온 뿐만 아니라 저온시험결과도 포함하여 연구결과에 반영함으로써 결과에 대한 신뢰성을 증대시켰다. 다만, 발생하는 진공압력에 변형이 없는 case를 고안하다 보니, 현재로서는 무게가 다소 제한적(case : 30 kg)이긴 하지만, 향후 기계적인 구조설계(FMEA)등의 추가 연구를 통하여 디자인 부분을 개선시키면 이 부분도 좀 더 개선될 여지가 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] D.I. Park, H.G. Shim, "A Study on Shelf-life Management Program of Long-term Storage One-shot System", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Volume 21, No. 1, pp.628-633, 2020. DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.1.628>
- [2] S.W. Kim, D.S. Seo, H.H. Son, C.H. Yu, Y. Cho, "Study on the formulations for Topical Skin Protectant against Liquid-Phase Chemical Warfare Agents", Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Volume 25, No. 2, pp.210-217, 2022. DOI: <http://doi.org/10.9766/KIMST.2022.25.2.210>
- [3] G.H. Yoon, Y.J. Jeong, Y.S. Lee, N.R. Lee, "Research on Producing Quality Information by Building CSRP Database and Developing Integrated Database Management Program", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Volume 22, No. 9, pp.84-91, 2021. DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.9.8>
- [4] H.S. Yoon, D.H. Kwon, J.S. Kang, H.K. Seo, H.W. Lee, "A Study of the Permeation Test Method for the Evaluation of Protective Clothing against Chemical Warfare Agent Simulants", Textile Science and Engineering, Volume 51, No. 6, pp.277-284, 2014. DOI: <http://doi.org/10.12772/TSE.2014.51.277>
- [5] J.Y. Yoon, , "A Study on Comparison of Efficiency for Water and Repellent Agents with Fluoro Carbon Resin", Korean Industrial Technology Convergence Society , Volume 21, No. 4, pp.1-6, 2016.
- [6] Y.J. Jeong, "A Study of Carbon Tetrachloride Substitutes in the Activated Carbon Performance Test", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society ,Volume 23, No. 8, pp.357-363, 2022. DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.8.357>
- [7] D.H. Kim, M.H. Kwon, M.J. Bae "A Study on Shelf-life for the Permeable Protective Suit using Reliability Analysis", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Volume 24, No. 8, pp.151-156, 2023. DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.8.151>

이 영 우(Young Woo Lee)

[정회원]



- 2012년 8월 : 서울시립대학교 기계정보 (공학사)
- 1993년 4월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

품질경영, CSRP

배 만 재(Man Jae Bae)

[정회원]



- 1995년 2월 : 성균관대학교 화학과 (이학사)
- 2004년 2월 : 부산대학교 고분자공학과 (공학석사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 국방기술품질원 책임연구원

<관심분야>

정보경영, 품질경영