

윤활유 필터의 종류 및 특징

홍성호^{1*} · 신주용² · 박태성² · 이상후²

¹동국대학교 창의융합공학부 기계시스템공학전공 부교수

²동국대학교 창의융합공학부 기계시스템공학전공 학부생

Types and Characteristics of Lubricant Filters

Sung-Ho Hong^{1*}, Ju-Yong Shin², Tae-Sung Park² and Sang-Hoo Lee²

¹Associate Professor, Dept. of Mechanical System Engineering, Dongguk University-WISE Campus

²Undergraduate Student, Dept. of Mechanical System Engineering, Dongguk University-WISE Campus

(Received August 19, 2023 ; Revised August 29, 2023 ; Accepted August 29, 2023)

Abstract – This paper presents a discussion on lubricating oil filters. The maintenance of lubricating oil filters can improve the performance of mechanical systems and extend the service life of the lubricating oil. Therefore, the effective management of the lubricating oil can extend the service life of the machine and reduce maintenance costs. A representative method for managing lubricating oil is filtering the lubricating oil using a lubricant filter. However, effectively managing a lubricating oil using a lubricant filter requires an understanding of the related knowledge. In this paper, we present the definition, classification, characteristics, specifications, performance, and self-cleaning function of lubricating oil filters. The lubricant filters are classified based on the filter material, filtering method, filtering location, and amount of filtered fluid. Cellulose and glass fiber materials are conventionally used as materials for lubricant filters, and recently, metal materials, which show excellent durability, are being increasingly adopted. The filtering methods can be classified into physical, chemical, magnetic, and electric field methods, and the lubricant filters can be classified according to their location in the lubrication system. The beta ratio and efficiency of the lubricant filter can be determined based on the performance of the filter. Finally, there are many products or technologies that add a self-cleaning function to the filter to remove foreign substances or contaminants for efficient management.



© Korean Tribology Society 2023. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License(CC BY, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction of the work in any medium, provided the original authors and source are properly cited.

Keywords – Lubricant filter(윤활유 필터), Filtering(필터링), Self-cleaning(자가 세정), Efficiency(포집효율)

1. 서 론

윤활유의 관리는 기계시스템의 성능 유지와 윤활유의 사용기간에 영향을 미치므로 유지 및 보존 측면에서 아

주 중요하다[1]. 윤활유를 관리하는 방법에는 정기적으로 오일 샘플링을 통한 오프라인(Off-line) 분석을 이용하는 방법과 윤활유 센서를 이용한 인라인(In-line), 온라인(On-line) 분석 방법이 주로 사용된다[2-4]. 윤활유가 순환하는 시스템에서 외부에서 유입된 불순물이나 내부에서 발생한 오염입자들을 제거하는 방법으로 윤활유 필터를 주로 사용하고 있다.

윤활유 필터는 엔진 오일, 변속기 오일, 유압 오일 등

*Corresponding author: Sung-Ho Hong
Tel: +82-54-770-2211, Fax.: +82-54-770-2870
E-mail: hongsh@dongguk.ac.kr
<https://orcid.org/0000-0002-3445-0646>

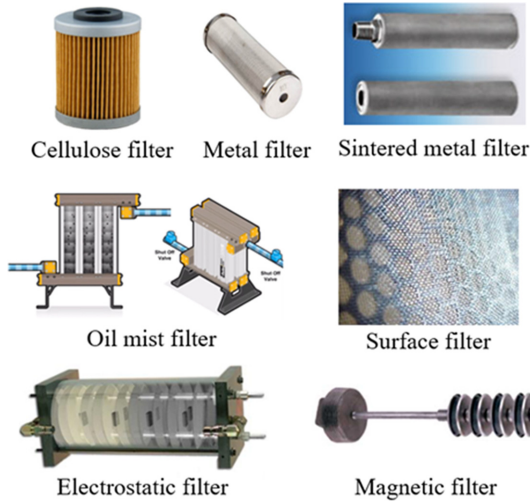


Fig. 1. Various lubricant filters.

다양한 윤활유가 사용되는 윤활 시스템에서 유입되거나 발생된 먼지 입자, 불순물 및 오염 물질을 제거하도록 설계된 필터이다[5]. 윤활유 필터는 항공기, 철도 기관차, 선박, 발전기, 자동차, 가스터빈 등 각종 기계시스템에서 유용하게 사용되고 있다. 초기 자동차 엔진에는 윤활유 필터가 없었으며 오일 펌프 흡입구에 배치된 초보적인 메쉬 (mesh) 타입의 체만 있었다. 일반적으로 사용되는 윤활유의 품질도 낮고 필터링 설비 수준이 낮아 매우 빈번한 오일 교환이 필요했다. Purolator 필터는 자동차용 최초의 윤활유 필터이다[6].

윤활유 필터는 윤활유 내의 작은 입자 물질들을 포집하여 윤활시스템 내에 축적되는 것을 방지하는 동시에 깨끗한 윤활유가 기계시스템에 원활하게 공급되도록 하는 기능을 수행한다[7]. 윤활유 필터는 Fig. 1과 같이 다양한 형태가 사용된다. 사용하는 목적에 따라 다양한 방법으로 윤활유의 불순물을 제거한다. 본 연구에서는 필터를 이용한 효과적인 윤활유의 유지 및 관리를 위해서는 필터에 대한 충분한 이해가 필요하다고 생각되어 필터에 관한 내용을 정리하였다. 윤활유 필터의 분류 및 그 특징, 필터의 성능과 규격 그리고 필터의 자가 세정 기술에 대해서 소개하고자 한다.

2. 본 론

윤활유 필터는 여러 측면에서 분류를 할 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 재료, 필터링 방법, 필터링 위치, 필터링되는 윤활유의 양 측면에서 구분을 하였다.

Materials	Filtration method
<ul style="list-style-type: none"> Cellulose Glass fiber Metal Magnet Ceramic Synthetic fiber Resin 	<ul style="list-style-type: none"> Physical Chemical Electromagnetic
Filtration location	Amount of filtering
<ul style="list-style-type: none"> Pressure filter Breather filter Return filter Off-line filter 	<ul style="list-style-type: none"> Full-flow filter By-pass filter

Fig. 2. Classification of lubricant filters.

2-1. 윤활유 필터의 소재

윤활유 필터는 Fig. 3과 같이 다양한 소재를 사용하여 제작되고 있다. 예전에는 셀룰로스 (cellulose)와 유리섬유 (glass fiber)가 필터의 소재로 많이 사용되었다. 두 소재는 카트리지(cartridge) 타입으로 제작되고 일정 사용 후에는 교체를 하는 방식으로 활용된다. 셀룰로스 소재의 필터는 가격이 저렴하지만 기공 (pore)의 사이즈가 불규칙적이고 피로 (fatigue), 고온, 화학물에 약한 단점이 있다. 유리섬유 소재의 필터는 셀룰로스과 같이 기공의 사이즈가 불규칙적이지만 상대적으로 포집 효율이 좋으며 고온 특성도 양호하다. 금속 소재의 필터는 최근에 많이 사용되고 있으며 다른 소재에 비해 내구성이 좋고 기공의 사이즈도 균일한 것이 특징이다. 그리고 금속 중에서도 SUS (steel use stainless)를 많이 사용하는데 이 재

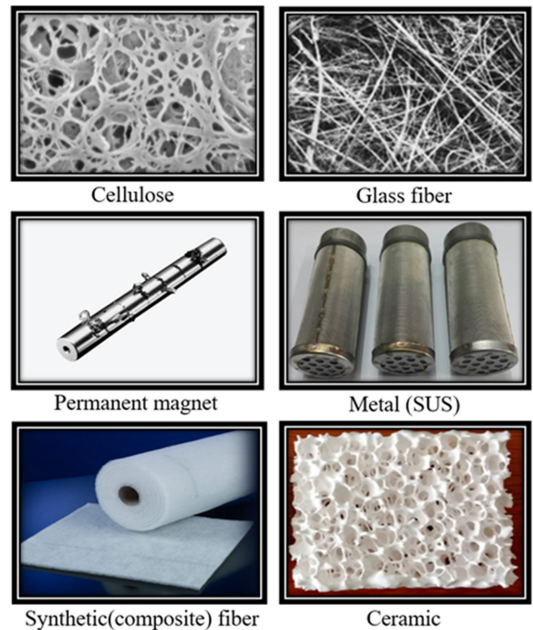


Fig. 3. Materials of lubricant filter.

료는 내부식성이 좋으며 세척 후 재사용이 가능하다는 장점이 있다. 윤활유 필터는 주로 파손이 되거나 막힘 현상으로 고장이 발생합니다. 셀룰로스 소재의 경우에는 소재의 내구성이 낮아 일정 사용 후, 파손이 발생하지만 내구성이 뛰어난 소재의 경우에는 이물질이 필터에 퇴적되어 필터의 막힘 현상이 발생한다. 윤활유 필터의 소재로는 셀룰로스, 유리섬유, 금속 소재 외에도 복합 소재, 영구자석, 세라믹 등이 사용되고 있다.

2.2. 윤활유 필터의 필터링 방법

윤활유 필터는 필터링 방법에 의해 Fig. 4와 같이 분류된다. 필터링 방법은 물리적인 방법, 화학적인 방법, 자기장 또는 전기장을 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 물리적 방식에는 Fig. 5와 같이 표면 필터 (surface filter), 심층 필터 (depth filter)와 원심 필터 (centrifugal filter)가 대표적이다.

표면 필터는 표면의 기공 크기보다 큰 오염물을 필터의 표면에서 포집하는 방식으로 재사용이 가능하지만 상대적으로 수명이 짧다. 심층 필터는 필터의 표면 뿐만 아니라 내부에서 오염물을 포집하는 방식이며 표면 필터에 비해 세척이 어렵지만 상대적으로 수명이 길다. 원심 필터는 원심력을 이용하여 필터링을 하는 방식으로

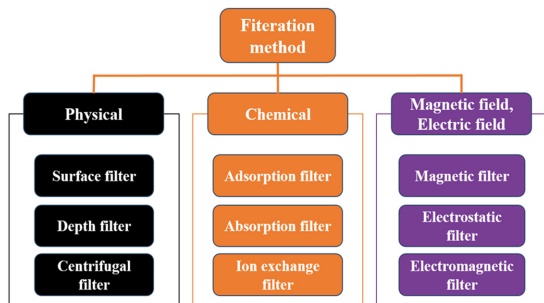


Fig. 4. Filtration of lubricant filter.

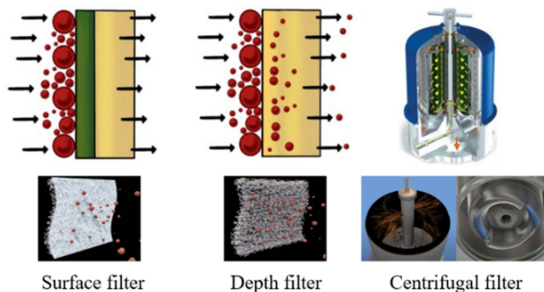


Fig. 5. Lubricant filters with physical filtration [9].

세척이 용이하고 세척 후에 재사용이 가능하다. 그러나 원심 필터는 고점도 유체에 적용하기 어렵고 많은 양의 유체를 처리하는 것이 불가능하다. 물리적 필터의 경우에는 고형 입자들을 잘 제거함으로써 윤활유의 입자 오염을 개선하여 윤활유 및 기계시스템의 건전성 향상에 기여한다.

화학적 방법에 의한 필터링에는 Fig. 6과 같이 흡착 필터 (adsorption filter), 흡수 필터 (absorption filter), 이온 교환 필터 (ion exchange filter)가 있다. 흡착 필터는 필터 표면에 윤활유 내의 이물질 분자나 원자들을 흡착시키며 흡수 필터는 필터의 소재와 윤활유 내의 특정 이물질이 반응하여 오염물이 포집된다. 이온 교환 필터는 수지 (resin)를 이용하여 이온 교환 과정을 통해 칼슘 (Ca), 마그네슘 (Mg) 같은 금속 이온을 제거하는데 이용된다. 물리적 필터는 고형 물질을 제거하는 반면에 화학적 필터의 경우에는 윤활유 속에 포함되어 있는 불순한 이온이나 화합물을 주로 제거하여 윤활유의 열화 방지에 기여한다.

윤활유를 필터링하는 방법에는 물리적, 화학적 방법 외에도 Fig. 7과 같이 자기장과 전기장을 이용하는 방식도 있다. 영구자석을 이용하여 철분 입자들을 포집하는 마그네틱 필터(magnetic filter)와 고전압을 공급하여 정전기를 발생시켜 포집하는 정전기 필터 (electrostatic filter), 그리고 전자기력을 이용하는 전자기 필터 (electromagnetic filter)가 있다. 정전기 필터는 금속 입자를 포집하는데 사용되지만 특히 바니쉬 (varnish)를 제거하는데 유용한 필터이다[9].

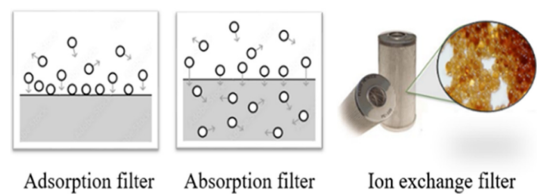


Fig. 6. Lubricant filters with chemical filtration.

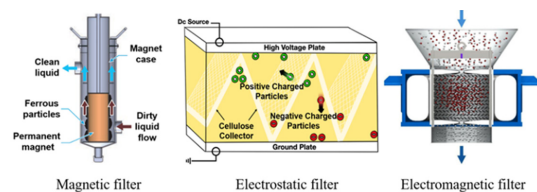


Fig. 7. Lubricant filters using magnetic and electric field [8-10].

2-3. 윤활유 필터의 필터링 위치

윤활유 필터는 Fig. 8과 같이 필터링 위치에 따라 분류된다. 압력 필터 (pressure filter)는 유압 펌프로 공급되는 유체 내에 이물질들을 제거하여 베어링이나 유압장치의 손상을 방지한다. 리턴 필터 (return filter)는 유압 실린더 같은 기계적 장치에서 발생된 이물질이 오일 탱크에 유입되는 것을 방지한다. 오프라인 필터 (off-line filter)는 윤활유 탱크 내의 이물질들을 제거하기 위해 우회로를 만들어 이물질들을 필터링하는데 이용된다. 에어 브리더 필터 (air breather filter)는 공기 중에 먼지나 수분들이 윤활유 저장소에 유입되는 것을 방지한다. 요즘에 적용되는 에어 브리더 필터는 수분의 오염 정도를 색깔 변화로 표시하므로 유지 관리 측면에서도 용이하다.

2-4. 윤활유 필터에서 필터링 되는 유체의 양

Fig. 9와 같이 full-flow 필터는 필터를 통해 지나가는 오일 전체를 필터링하지만 by-pass 필터는 유체의 일부만을 필터링한다. Full-flow 필터는 상대적으로 큰 입자들을 제거하는 반면에 by-pass 필터는 작은 입자들을 제거한다. 그리고 full-flow 필터가 다량의 오염물질로 필터의 기능을 상실할 때는 by-pass 밸브를 이용하여 우회하게 한다. By-pass 필터는 단독으로 사용되지는 않으며 전체 필터링 되는 유체의 약 20% 미만에 적용되고 마그네틱 필터, 원심 필터가 대표적인 예시이다.

2-5. 스트레이너, 오일 미스트 필터

윤활시스템에서 윤활유 내의 이물질들을 제거하는데 윤활유 필터뿐만 아니라 스트레이너 (strainer)도 사용된다. 윤활유 필터와 스트레이너는 비슷한 기능을 수행하므로 스트레이너를 윤활유 필터의 한 종류로 취급하기도 한다. 스트레이너는 Fig. 10의 왼쪽 형상과 같으며 40 μm

이상의 큰 입자들을 필터링을 하는데 사용되며 주로 저장 탱크에서 펌프로 유입되는 흡입구 전단에 설치되어 사용된다. 유증기를 포집하는 필터를 유증기 필터 또는 오일 미스트 (oil mist) 필터라고 한다. 오일 미스트 필터는 Fig. 10의 오른쪽 형상과 같으며 내부에 종이나 활성탄소 같이 흡착력이 우수한 소재를 이용하여 공기 중의 유증기를 필터링하는데 사용된다.

2-6. 필터의 자가 세정

카트리지 타입의 필터인 경우에는 일정시간 사용 후, 필터를 교체해야 하는 번거로움이 있다. 이를 개선하고자 필터의 소재를 금속과 같은 내구성이 있는 소재로 변화하고 자가 세정 (self-cleaning) 기능을 추가하여 유지 및 보수 측면에서 번거로움이 개선되었다. 대부분이 필터 전단과 후단의 압력 차이가 일정 값 이상이 되면 필터의 교체 및 세정이 필요하다. 필터의 자가 세정은 다량의 이물질로 필터의 성능이 저하될 때 수동적으로 이물질을 제거하는 것이 아니라 Fig. 11과 같이 자동적으로 이물질이 제거되는 것을 의미한다. 필터의 자가 세정은 스크래퍼 (scraper) 또는 브러시 (brush)를 대표적으로

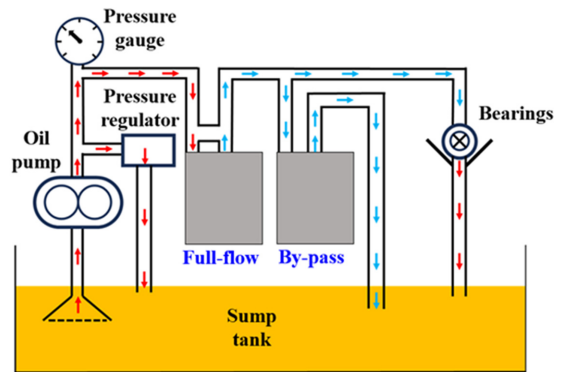


Fig. 9. Full-flow and by-pass filters.

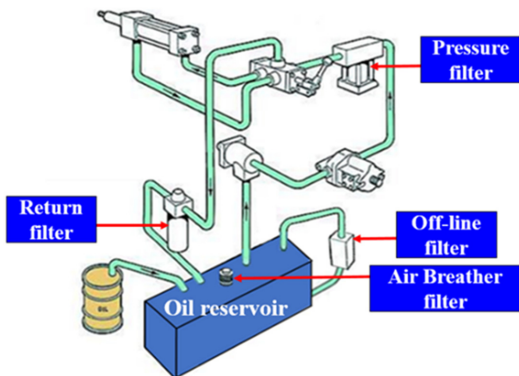


Fig. 8. Filtering position of lubricant filters.

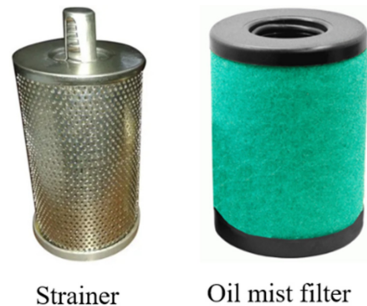


Fig. 10. Strainer and oil mist filter [11-12].

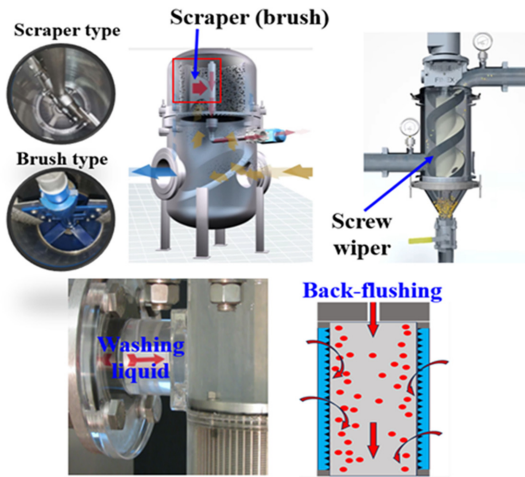


Fig. 11. Self-cleaning of lubricant filters[13-14].

이용하여 필터 표면에 있는 이물질질을 필터 시스템의 바닥으로 떨어지게 하여 외부로 배출하는 방식을 사용하고 있다. 그 외에도 세정액 (washing fluid)과 역세척 (back-flushing)을 이용하여 필터 표면의 이물질질을 제거하기도 한다.

2-7. 윤활유 필터의 규격과 성능

윤활유 필터의 기공 크기를 크기로 표현하기도 하지만 금속 소재의 필터는 기공 크기가 균일하므로 메쉬 (mesh) 라는 개념을 사용한다. 메쉬는 Fig. 12와 같이 1 inch의 거리에 기공 (pore)의 개수를 의미한다. 즉 10 mesh의 경우는 1 inch의 거리에 10개의 기공들이 있는 것을 의미하고 메쉬의 숫자가 크면 기공의 크기가

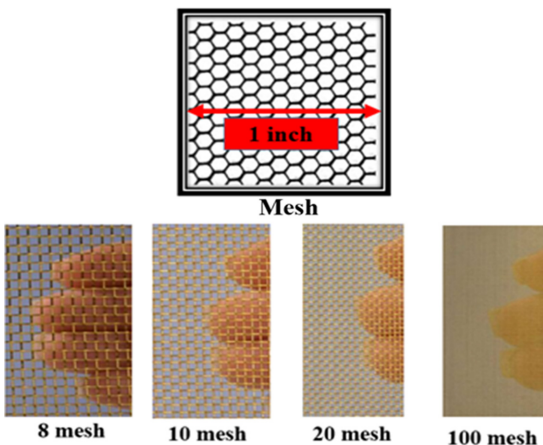


Fig. 12. Concept of mesh[15].

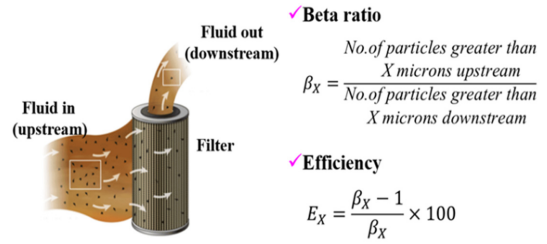


Fig. 13. Beta ratio and efficiency of lubricant filter.

작은 필터이다. 윤활유 필터의 성능은 Fig. 13과 같이 베타율 (beta ratio), 포집효율 (efficiency)로 평가된다. 베타율은 기공의 크기 (X)에 기반하여 필터 후단에서 기공의 크기보다 큰 입자의 개수에 대한 필터 전단에서의 입자 개수의 비를 나타낸다. 그리고 포집효율은 식 $((\beta_x - 1) \times 100 / \beta_x)$ 을 이용하여 구해진다. 즉 윤활유 필터의 베타율이 높으면 포집효율도 높아진다.

3. 결 론

본 연구에서는 윤활시스템에서 윤활유의 유지 및 관리에서 중요한 윤활유 필터에 대해 조사하였다. 윤활유 필터를 소재, 필터링 방법, 필터링 위치, 필터링 양적인 측면에서 분류하여 소개하였다. 그리고 윤활유 필터의 성능과 관련된 베타율과 포집효율에 대해 설명하였다. 윤활유 필터는 금속과 같은 내구성 있는 소재를 확대 사용하고 있으며 자가 세정 기능을 추가하여 윤활유의 보전 전략이 효과적으로 변화하고 있다.

특히 건설장비와 같이 열악한 환경에서 운영되는 기계시스템에서는 이물질에 의한 윤활유 오염 및 기계손상이 발생하기도 한다. 따라서 기계시스템에서 효과적인 윤활유의 관리를 위해서는 윤활유 필터의 소재 및 방법의 개선뿐만 아니라 윤활유 필터링 시스템을 보다 효과적으로 활용하기 위한 윤활유 분석 기반의 상태진단 기술이 필요하다.

Acknowledgements

본과제(결과물)는 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학협력기반 지역혁신사업의 결과입니다. (재단과제관리번호: 2022RIS-006)

References

- [1] Hong, S. H., Lee, K. H., Jeong, N. W., “Development of oil flushing system with microbubble generator”, *Tribo. Lubr.*, Vol.38, No.3, pp.109-114, 2022, <https://doi.org/10.9725/kts.2022.38.3.109>
- [2] Hong, S. H., “Review of application cases of machine condition monitoring using oil sensors”, *Tribo. Lubr.*, Vol.36, No.6, pp.307-314, 2020, <https://doi.org/10.9725/kts.2020.36.6.307>
- [3] Hong, S. H., “Literature review of machine condition monitoring with oil sensors - Application cases”, Proc. Conf. Korean Tribol. Soc., Daejeon, Korea, September 2020.
- [4] Hong, S. H., *Machine Condition Diagnosis Based on Oil Analysis*, Chap. 3, Hanteenedia, Seoul, Korea, 2021 (ISBN 978-89-6421-426-8).
- [5] Gupta, S., Babu, T. N., “Structural analysis and comparison of components of oil filter”, *Mater. Today: Proc.*, In Press, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.321>
- [6] Oil filter, https://en.wikipedia.org/wiki/Oil_filter, Accessed August 13, 2023.
- [7] Engine Oil Filter Study, <https://www.austincc.edu/wkibbe/oilfilterstudy.html>, Accessed August 13, 2023.
- [8] Magnetic Filter, <https://www.bunri.com/en/product/mf/>, Accessed August 16, 2023.
- [9] Hong, S.H., Jang, E.K., “Varnish formation and removal in lubrication systems: A review”, *Materials*, Vol.16, No.10, pp.3737, 2023, <https://doi.org/10.3390/ma16103737>
- [10] FVP Vibrating Electro Magnetic Dust Filter, <https://www.pro-tech-con.com/en/products-system-solutions/protechcon/magnet-separators-systems/magnetic-filters-separators-for-loose-bulk-materials/533-fvp-vibrating-electro-magnetic-dust-filter.html>, Accessed August 14, 2023.
- [11] Stainless Steel Basket Strainer Lubricant Oil filter, <https://www.indiamart.com/proddetail/basket-strainer-lubricant-oil-filter-23927320848.html>, Accessed August 14, 2023.
- [12] Replacement Oil Mist Exhaust Filter Cartridge, <https://www.labconco.com/product/replacement-oil-mistexhaust-filter-cartridge/3556>, Accessed August 14, 2023.
- [13] Filtration Solutions for Oil, <https://www.hankefilters.com/pdf/oil-filtration-solution-catalog.pdf>, Accessed August 14, 2023.
- [14] Self-Cleaning Filters, <https://filtrationchina.com/jxfiltration-automatic-self-cleaning-filter.pdf>, Accessed August 16, 2023.
- [15] Oil Strainers, <https://www.twpinc.com/wire-mesh-by-project/oil-strainers>, Accessed August 16, 2023.