



## 터보프롭 엔진 연료필터 오염 원인 탐구

이형원<sup>a,\*</sup> · 조하나<sup>a</sup> · 이충렬<sup>a</sup>

# Investigation of Fuel Filter Contamination for Turboprop Engine

Hyeongwon Lee<sup>a,\*</sup> · Hana Jo<sup>a</sup> · Chungryeol Lee<sup>a</sup>

<sup>a</sup>4<sup>th</sup> Directorate, Aerospace Technology Research Institute, Agency for Defense Development, Korea

\*Corresponding author. E-mail: [hyeongwonkk@snu.ac.kr](mailto:hyeongwonkk@snu.ac.kr)

### ABSTRACT

This paper contains the process of investigating the cause of fuel filter contamination of P&WC's PT6A-67A engine. An outline of the fuel filter contamination and configuration of the fuel supply line are specified. The analytical methods were classified into fuel component analysis and solid sediment analysis(EDX, TGA, optical microscope). In summary, the sulfur was detected from fuel tank sealant as a major contamination component. As a follow-up, P&WC and the Agency for Defense Development will conduct engine fuel filter cycle checks and fuel tank cleaning for engine operation.

### 초 록

본 논문에서는 P&WC 사 PT6A-67A 엔진의 연료 필터 오염에 대한 원인 탐구를 수행했다. 관련하여 PT6A-67A 엔진 연료 필터 오염 개요와 엔진 공급라인 구성에 대해서 명시했다. 다음으로, 분석 방법을 공급 연료 성분 분석과 고형 침전물 분석(EDX, TGA, 광학현미경)으로 분류하여 비교분석했다. 결과들을 종합하면, 검출된 주요 성분은 연료 탱크 실런트의 황 성분이었다. 이 결과들의 후속 조치로서 P&WC와 국방과학연구소는 엔진 운용에 있어서 엔진 연료 필터 주기 점검 및 연료 탱크 세척을 수행할 예정이다.

Key Words: Turboprop Engine(터보프롭 엔진), Fuel Filter(연료 필터), Contamination(오염)

### 1. 서 론

현재 국방과학연구소에서 개발 중인 비행체 중 하나는 터보프롭 엔진(P&WC PT6A-67A)을 적용하여 개발 중이다. 이 엔진 운용에 필요한 연료는 연료펌프와 연료필터를 통과하여 엔진에

공급된다. 연료 펌프를 통과하는 연료의 오염은 연료량 제어장치의 고장이나, 연료 인젝터의 막힘에 의한 성능 저하를 야기할 수 있기 때문에 엔진 운용 안정성과 성능에 중요한 영향을 미친다.

PT6A-67A 엔진에서 사용되는 연료 펌프는 연료 가열기(Fuel heater)에서 연료를 전달 받아 FCU(Fuel Control Unit)로 여과된 고압연료를 공급한다[1]. 연료는 두 번 여과되며, 입구 필터의 여과크기는 74  $\mu\text{m}$  이며, 출구 필터는 10  $\mu\text{m}$  이다. 입구 필터는 엔진 운용 600 시간 후 세척하며, 출구 필터는 600 시간 후 새 제품으로 교체

Received 12 June 2019 / Revised 10 October 2019 / Accepted 12 October 2019

Copyright © The Korean Society of Propulsion Engineers

pISSN 1226-6027 / eISSN 2288-4548

[이 논문은 한국추진공학회 2019년도 춘계학술대회(2019. 5. 29-31, 라마다프라자 제주호텔) 발표논문을 심사하여 수정·보완한 것임.]

한다. 필터가 막혀서 약 15~25 psid의 차압력이 생기면, 출구 필터 바이패스 밸브(Outlet filter bypass valve)가 열리면서 연료가 우회하여 FCU로 연료를 공급하도록 설계되어 있다.

엔진 시험운용 중에 예상치 못하게 엔진 연료 필터 오염이 발생했다. 이를 분석하기 위해 P&WC 전문가와 함께 지상 시험용 엔진을 점검했다. 비행체의 지상시험용 엔진 운용 시간은 600 시간 이내였으나, 엔진 연료 펌프 출구 필터에서 오염이 발생한 것을 확인하였다. 본 조사대상 엔진 이외의 항공기 엔진을 검사했고, 엔진 운용 시간이 180 시간밖에 안된 엔진의 연료 필터에서도 오염이 발생된 것이 확인되었다.

본 논문은 연료 필터 오염 원인 탐구 수행 내용을 기술한 것으로, 먼저, PT6A-67A 엔진 연료 공급라인 구성에 대해서 설명하고, KT-1 엔진 필터 오염 유사 사례를 살펴보았다[2]. 다음으로, 오염 필터 분석 방법(EDX)에 대해서 명시하고, 오염 필터 분석 결과에 대해서 각각 분석 기법으로 분류하여 검토했다. 오염 필터 및 불순물에 관한 분석은 한국화학연구원과 국방과학연구소에서 진행했다. 마지막으로, 오염 필터에 대한 후속 조치를 정리했다.

## 2. 본 론

### 2.1 PT6A-67A 엔진 연료 공급라인 구성

본 논문에서 다루는 연료 필터 오염은 엔진 연료 펌프 장치(Fuel pump unit)의 출구 필터(Outlet filter) 오염을 의미한다. 따라서, 구체적인 연료 필터 오염의 원인을 탐구하기 위해 엔진 연료 라인 구성에 대해서 먼저 소개하고자 한다. 비행체 엔진 연료 라인 구성 개략도는 Fig. 1과 같다[1]. 연료 탱크(Fuel tank)에 저장되어 있던 연료는 연료 승압펌프(Fuel boost pump)에 의해 엔진으로 공급된다.

연료 탱크에서 배출된 연료는 연료 가열기(Fuel heater)로 보내진다. 연료 가열기에서는 연료를 예열하여 엔진의 요구하는 최소의 연료온도 이상이 되도록 가열한다. 연료가열기에서 연

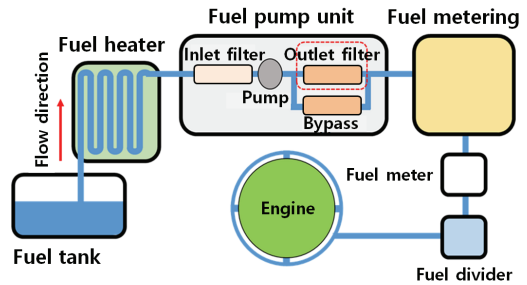


Fig. 1 Schematic of fuel line for PT6A-67A engine.

료는 연료 펌프 장치로 보내지고, 연료 제어 장치(Fuel Control Unit, FCU)로 보내진다. FCU는 주변 환경과 파워 레버(Power lever)에 따라서 요구된 동력을 생산할 수 있도록 연료의 양을 조절하는 역할을 수행한다. 마지막으로 연료는 연료분배기(Fuel Flow Divider)에 의해 1차, 2차 매니폴드에 분배되고, 연료 노즐에 의해 연소실로 분사된다.

특히, 연료 펌프 장치에는 입구 필터(Inlet filter), 펌프(Pump), 출구 필터(Outlet filter) 그리고 바이패스 밸브(Bypass valve)가 있다. 입구 필터는 74  $\mu\text{m}$ 로 이물질을 여과하며, 600 시간 운용 후 세척한다. 펌프는 연료를 가압하여 FCU가 연료량을 조절할 수 있도록 한다. 출구 필터는 10  $\mu\text{m}$ 로 이물질을 여과하여, FCU 정밀 제어 구성품과 연료인젝터의 동작을 보장하도록 하며 600 시간 운용 후에 새 제품으로 교체한다. 바이패스 밸브는 출구 필터가 오염되어 15~25 psid의 차압력이 생기면 연료가 우회할 수 있도록 한다. 여기서, 연료출구 필터에서 오염이 발생에 따라 유사 사례를 분석하고, PT6A-67A 엔진 연료 필터 오염을 분석했다.

### 2.2 KT-1 엔진 연료 필터 오염 사례

인도네시아 공군이 운용 중인 KT-1B 항공기가 비행 중 통합 경보 장치에 경고등이 점등되는 결함이 발생했던 사례가 있다[2]. 이 당시, KT-1B 항공기 17대 중 10대의 항공기에서 동일 결함이 발생하였으며, 근본적 해결책 수립을 위해 연료필터 이물질을 분석했다. 분석 방법은 KT-1B 결함 발생 연료 필터 2개를 FT-IR,

Table 1. Analysis for foreign substance.

Analysis equipment	Analysis method
FT-IR (FT-IR Microscopy)	Analysis for organic matter
FE-SEM (Field Emission Scanning Eletron Microscopy)	Configuration Observation
EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)	Analysis for inorganic matter

FE-SEM, EDX 분석하여 이물질의 성분을 분석했다. Table 1에는 각 분석 기법에 대한 설명이 정리되어 있다.

분석 결과로 시편에서 액상 유기물인 에스터(Ester)계 그리스(오일)와 고체 무기물인 황(Sulfur) 성분이 확인되었다. 특히, 연료 필터 내부 여과막 잔류 이물질은 고체성 미립자 무기물인 황으로 연료 막힘의 원인물질이라고 판단했다[2]. 따라서, 황의 형성과정을 분석했고, 연료 탱크 실런트인 Integral Sealing Compound (Mil-S-8802)에 의해 Sulfur blooming 현상[3, 4]이 일어나 황이 형성되었다고 분석했다. 이는 국방과학연구소 비행체 연료 탱크에 사용된 실런트와 동일하기 때문에 KT-1 엔진 연료 필터 오염 사례를 기반으로 분석 방법 등을 설정하여 비행체 엔진 연료 필터 오염 분석 수행했다.

2.3 분석 방법

PT6A-67A 엔진은 기본적으로 JP-8의 연료를 사용한다. 지상 시험용 엔진과 비행체 엔진은 서로 다른 공급사에서 제공하는 JP-8 연료를 사용하고 있다. 지상 시험용 엔진의 경우에는 SK 에너지에서 제공하는 연료를 사용하고, 비행체 엔진의 경우에는 S-OIL에서 제공하는 연료를 사용하고 있다. 따라서, 공급사에 따른 연료분석을 수행하였다. P&WC 사 기준 연료 성분과 첨가제의 요구 사항에 적합한 연료를 사용하고 있는지 각 공급사의 연료 분석 증명서를 기준으로 분석했다.

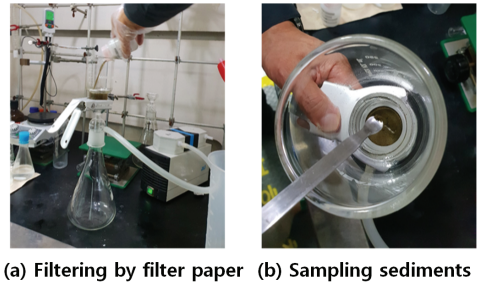


Fig. 2 Filtering of fuel samples.

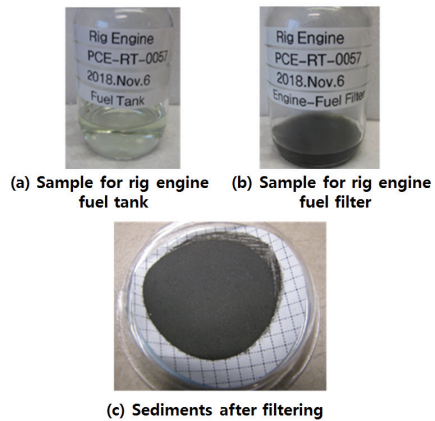


Fig. 3 Filtering example for GT engine.

추가적으로, 각 엔진 연료 필터 내에 들어 있는 고형 침전물을 4.5 μm의 여과지로 여과하여 걸러진 고형물을 n-헥산으로 세척하고 70 °C 전기오븐에서 12 시간 건조 후 상온에서 식혀 분석했다(Fig. 2). Fig. 3은 PCE-RT-0057(지상 시험용 엔진)의 연료 샘플 예시이다. Fig. 3 (a)는 지상 시험용 엔진 연료 탱크에서 취득한 연료 샘플을 보여준다. Fig. 3 (b)는 지상 시험용 엔진 연료 필터에서 취득한 연료 샘플을 보여준다. 마지막으로, Fig.3 (c)는 위에서 언급한대로 여과지로 여과하고, 후처리한 연료 고형물이다. 이와 같은 방식으로 오염된 비행체 엔진의 연료 또한 취득했다.

2.4 공급 연료 성분 분석 결과

JP-8은 보통 JET A-1 원료에 결빙 방지제(Anti-icing additives), 산화 방지제(Oxidation inhibitors)

그리고 부식방지제(Corrosion inhibitors) 등을 첨가하여 만든다. 따라서, 각 공급사에 첨가된 방지제들의 성분들이 요구사항에 맞는지 검토했다. Table 2, 3, 4는 P&WC 요구조건을 기준으로 각 공급사의 첨가제인 결빙 방지제, 산화 방지제 그리고 부식 방지제가 요구사항에 부합한지를 검토한 내용이다.

먼저, Table 2는 결빙 방지제 적합성을 검토한 표이다. P&WC에서 요구하는 기준 제품과 규격이 표에 정리되어 있다. 각 공급사는 MIL-DTL-85470에 준수하는 결빙 방지제를 사용한 것

을 확인했다.

Table 3은 산화 방지제 적합성을 검토하는 표이며, P&WC는 Methylphenol 혹은 Butylphenol을 0.024 g/l보다 적게 사용하는 것을 요구했고, 두 공급사는 기준에 적합했다.

Table 4는 부식 방지제 적합성에 대한 표이며, QPL-25017 기준에 적합함을 판단했고, 최종적으로 각 공급사의 세 가지 첨가제가 엔진에 공급되기 위한 연료 요구사항에 모두 적합함을 확인했다.

Table 2. Review for JP-8 fuel anti-icing additives.

Standard	Anti-icing additives		
	Product	Spec.	Inspection
Requirements of P&WC	Diegme	ASTM D4171 Type III MIL-DTL-85470	-
	Liquid I	GOST 8313	-
	Liquid I-M	TU-6-10-1458	-
S-OIL	Diegme	MIL-DTL-85470	Acceptable
SK Energy	FSII-41	MIL-DTL-85470	Acceptable

Table 3. Review for JP-8 fuel oxidation inhibitors.

Standard	Oxidation inhibitors		
	Product	Spec.	Inspection
Requirements of P&WC	-	Methylphenol or Butylphenol < 0.024 g/l	-
S-OIL	UOP-344/50 (Dorf-Ketal)	0.0231 g/l	Acceptable
SK Energy	AO-80	0.020 g/l	Acceptable

Table 4. Review for JP-8 fuel corrosion inhibitors.

Standard	Corrosion inhibitors		
	Product	Spec.	Inspection
Requirements of P&WC	-	QPL-25017 MIL-PRF-25017	-
S-OIL	Unicor J	QPL-25017	Acceptable
SK Energy	DCI-4A	QPL-25017	Acceptable

### 2.5 연료 필터 이물질 분석 결과

KT-1 사례와 동일한 방법으로 세척된 이물질 시료를 만들어 EDX 분석을 한국화학연구원을 통해 수행했다. EDX 분석은 기본적으로 이물질의 무기물 성분을 분석하는 것으로 BRUKER사의 QUANTAX 200 모델을 통해 수행했다. Fig. 4, 5, 6은 각 엔진 연료 필터에 대한 샘플 분석 결과를 보여준다. X축은 원소마다 방출하는 고유의 전자 에너지 양을 의미하고, Y축은 그에 따른 이득(Gain) 값을 의미한다.

PCE-RT-0057 엔진의 EDX 결과(Fig. 4)를 보면, 다른 결과(Fig. 5, Fig. 6)에 비해 금속 성분(Cr, Fe, Cu, ...)이 많이 검출된 것을 확인할 수 있다. 이는 PCE-RT-0057 엔진의 연료 필터만 검은색으로 오염된 것과 관련이 있다고 분석했다. 이는 항공기 연료 탱크와 지상 시험용 연료 탱크의 제작 방식 차이에 의해 연료 필터 내 검출물의 성분이 다른 것으로 판단했다. 항공기 연료 탱크(PCE-RT-0094, PCE-RT-0100 엔진)는 Integral type으로 제작했고, 지상 시험용 연료 탱크(PCE-RT-0057 엔진)는 용접(Welding)하여 제작했다.

항공기 연료 탱크는 체결볼트 수를 줄여 경량화 했으며, 동체 연료 탱크와 날개 연료 탱크 분리된다. 이 때, 동체 연료 탱크와 날개 연료 탱크는 실린트로 틈을 메워 밀봉하여 제작했다. 반면, 지상 시험용 연료 탱크는 안전성, 내구성을 극대화하고 제작성, 경제성을 고려하여 알루미늄 소재의 용기 다수를 용접으로 접합하여 제작하는 방식을 사용했다.

용접을 하게 되면 그 부산물로 용접흄(Welding fume)이 발생한다. 흄(Fume)이란 고온의 금속 증기가 냉각 및 응축되어 증기나 가스 내에 미세한 입자로 부유해 있는 것을 말한다. 특히 용접흄은 용접 작업 시 열에 의해 증발된 물질이 냉각되어 생기는 미세한 소립자를 말하고, 주요 성분은 Fe, Cr, Ni 등 17가지이다. 용접흄에서 가장 많이 발생하는 주 성분은 Fe이다. 이는 Fig. 4에서 Fe 성분이 많이 발생한 것과 부합한다. 따라서, PCE-RT-0057 엔진의 연료 필터에서 검은색 오염이 발생한 주요 원인은 연료 탱크의 용접 흄일 것이라 추측했다.

Table 5는 Fig. 4, 5, 6의 결과를 종합한 내용이다. Table 5 수치들의 단위는 탄소 성분 대비 중량비(C norm.wt%)이다. 각 결과들을 정리하자면, PCE-RT-0057 엔진의 경우 금속 무기물이 다량 검출되었고, PCE-RT-0094 엔진과 PCE-RT-0100 엔진은 금속 무기물이 거의 검출되지 않았다. 또한, Fig. 4, 5, 6과 Table 5를 참조하면 각 결과들은 황(S)이 주로 검출된 것을 확인할 수 있다. 황 성분은 KT-1 연료 필터 오염 사례에서 언급한 오염 원인과 같았다.

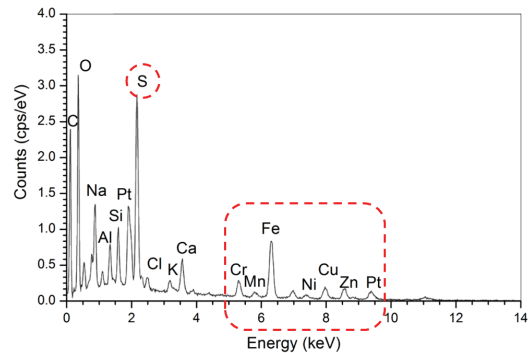


Fig. 4 EDX analysis result (PCE-RT-0057).

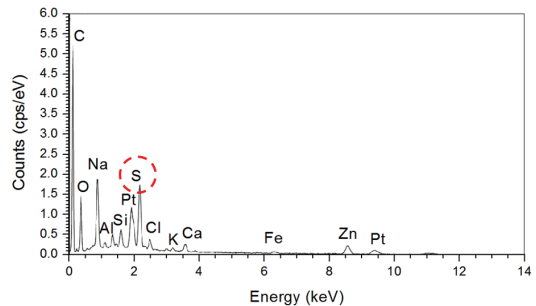


Fig. 5 EDX analysis result (PCE-RT-0094).

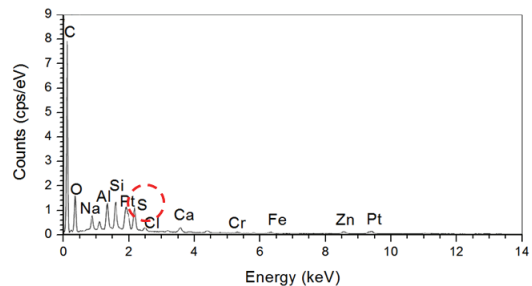


Fig. 6 EDX analysis result (PCE-RT-0100).

추가적으로, 국방과학연구소 소재부 성분 분석 연구실에서 세 가지 엔진의 고형 침전물 성분 분석을 수행했다. PCE-RT-0057 엔진 분석 결과로 주요 미세 입자로는 수  $\mu\text{m}$ 의 Fe oxide 성분과 수십  $\mu\text{m}$ 의 비정형 나트륨 황산염(Na-S-O) 성분이 포함되어 있는 것으로 추정되었다. PCE-RT- 0094 엔진에서는 수십  $\mu\text{m}$ 의 비정형 아연 황산염(Zn(Na)-S-O) 성분이 있는 것으로 추정되었다. 이는 EDX 결과와 성분 분석 결과 모두 황 성분을 오염의 원인으로 보는 것을 의미했다.

마지막으로, PCE-RT-0100 엔진의 경우에는 수십  $\mu\text{m}$ 의 비정형 나트륨 황산염(Na-S-O) 성분이 포함되어 있는 것으로 추정되었다. 이 또한 EDX 결과와 성분 분석 결과 모두 황 성분을 오염의 원인으로 보는 것을 의미했다. 정리하자면, 비행

체는 접착제 혹은 촉매 등의 황 성분(나트륨 황산염 -> 아연 황산염)에 의해 연료 탱크 실린트에서 오염됐을 가능성이 농후하다고 분석했다.

고형 침전물의 유/무기물 비중을 분석하기 위해서 TGA(Thermogravimetric Analysis) 분석을 수행했다. TGA 분석이란 열중량 분석이라고도

Table 5. Overall result for EDX analysis.

Composiotion	PCE-RT-0057	PCE-RT-0094	PCE-RT-0100
Na	2.33	0.72	2.22
Mg	0.44	0.53	0.28
Al	1.03	1.69	0.56
Si	1.14	1.49	0.70
S	<b>5.47</b>	<b>1.77</b>	<b>3.68</b>
Cl	0.41	0.33	0.67
K	0.54	0.21	0.23
Ca	1.74	0.84	0.90
Ti	-	0.54	-
Cr	1.55	0.26	-
Fe	<b>9.24</b>	0.44	0.53
Zn	4.60	1.85	6.38
Cd	-	-	0.43
Ni	<b>0.94</b>	-	-
F	<b>1.14</b>	-	-
N	-	-	1.91
Sn	<b>0.52</b>	-	-
Mn	<b>0.39</b>	-	-
Cu	<b>3.78</b>	-	-

Unit : C norm.wt%

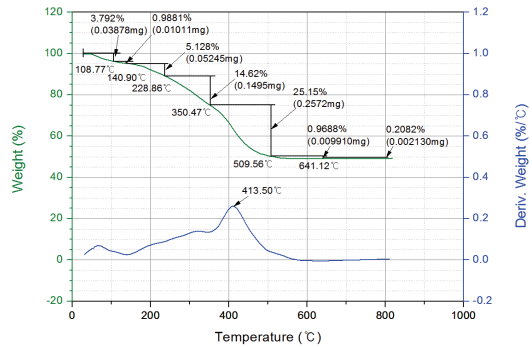


Fig. 7 TGA analysis result (PCE-RT-0057).

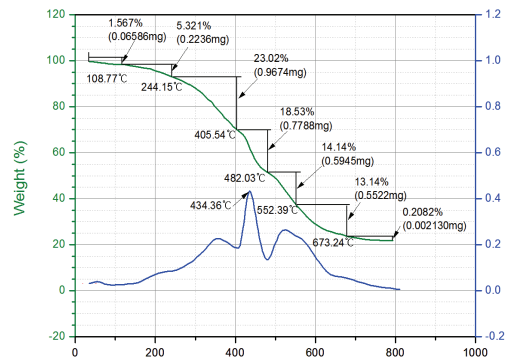


Fig. 8 TGA analysis result (PCE-RT-0094).

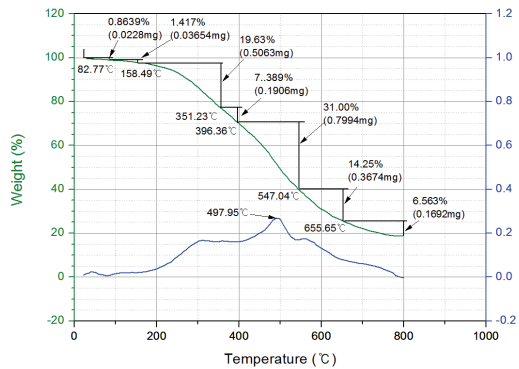


Fig. 9 TGA analysis result (PCE-RT-0100).

불리며, 열로 인한 샘플의 화학적, 물리적 변화로 생기는 중량의 변화를 온도에 따라 관측하는 분석 기법이다. 기본적으로 상온~1200 °C에서 시료의 구성 성분을 분석하거나, 열적 안정성을 분석하는데 이 기법이 사용된다.

TGA 분석은 PCE-RT-0057, PCE-RT-0094, PCE-RT-0100 각 엔진 연료 필터 고형물에 대해 수행했다 (Fig. 7, 8, 9). 각 Fig. 7, 8, 9 녹색 그래프는 온도에 따른 누적 비중(Weight (%))을 보여주며, 파란 그래프는 온도 대비 비중 변화량(Deriv. Weight (%/°C))을 보여준다. 일반적으로 온도가 높아지면서 유기물은 연소되지만, 무기물은 그대로 보존되어 유지된다.

먼저, Fig. 7 PCE-RT-0057 엔진의 경우, 연료 필터 고형물을 800°C까지 가열해도 약 50% 누적 비중이 남아 있는 것을 볼 수 있다. 그러나, Fig. 8 PCE-RT-0094, Fig. 9 PCE-RT-0100 엔진의 경우, 고형물을 800°C까지 가열하면 약 20%의 누적 비중이 남는 것을 확인할 수 있다. 이는 PCE-RT-0057 엔진에 상대적으로 많은 무기물이 검출되고 있다는 것을 의미한다.

또한, Fig. 7, 8, 9의 파란 그래프인 온도 대비 비중 변화량은 각 그래프마다 다른 온도에서 최고점을 보였으며, 이는 각 엔진의 고형침전물이 균일한 성분으로 이루어지지 않았음을 의미한다.

분석 결과를 요약하자면, PCE-RT-0057의 경우 무기물의 비중이 높고, PCE-RT-0094, PCE-

RT-0100의 경우 유기물의 비중이 높음을 확인했다. 이는 PCE-RT-0057 엔진 연료 필터는 용접 흠에 의한 오염, PCE-RT-0094, PCE-RT-0100 엔진 연료 필터는 실린트에 의한 오염의 가능성을 높이는 결과였다.

Fig. 10은 10배 광학현미경 관측 사진이다. Fig. 10 (a), (c)에서는 필터 섬유들이 확인된 것에 반해, Fig. 10 (b), (d)를 보면, 필터를 막을 만큼 큰 조대한 금속 이물질 및 primer 내부 도장 이물질이 발견되지 않았음을 확인할 수 있다. 이 사진은 연료계통 연료 필터와 연료 펌프 장치 입구 필터에 의해 상대적으로 큰 이물질들이 잘 여과되었음을 확인시켜준다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 P&WC PT6A-67A 엔진의 연료 필터 오염에 대한 원인 탐구를 수행했다. 먼저, PT6A-67A 엔진 연료 공급라인 구성에 대해서 설명하고, KT-1 엔진 필터 오염 유사 사례를 살펴해보았다. 다음으로, 오염 필터 분석 방법에 대해서 명시하고, 오염 필터 분석 결과에 대해서 비교분석했다.

먼저, P&WC에서 발행하는 연료 요구 조건과 연료 공급사의 연료 분석 성적서를 비교하여 연료가 적합함을 확인했다. 고형 침전물의 EDX 분석 결과, PCE-RT-0057(지상 시험용) 엔진 연료 필터에서 금속 용접 시에 발생하는 금속 무기물이 상당 수 검출되었다. 다음으로, 고형 침전물의 성분 분석 결과, 실린트 재료 A인 K720-281769에서 망간 황산염(Mn-S-O), 칼슘 황산염(Ca-S-O)이 검출되었고, 이는 연료 필터 오염 물질인 나트륨 황산염(Na-S-O)과 아연 황산염(Zn-S-O)과 가장 부합하는 성분이었다.

결과들을 종합하면, 주요 오염의 원인은 연료 탱크 작업 시 실린트가 공기에 노출되었고, 이는 실린트 표면에 황을 형성시켰으며, 이 황이 연료에 녹지 않고 부유해 있다가 연료 필터에 여과되어 오염된 것이라고 판단했다. 오염된 엔진 연료 필터는 P&WC 내 특수 시험 장치에서 바이

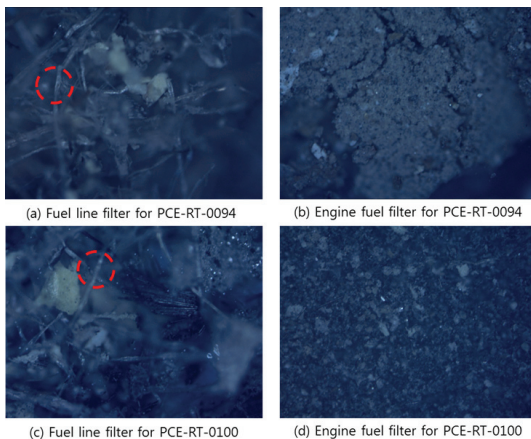


Fig. 10 Microscopic examination of filters.

패스 관련 시험이 수행되었고, 필터의 압력차는 약 1 psid 미만으로 연료는 바이패스되지 않았다. 따라서, 엔진 자체 운용에는 문제가 없었음을 확인했다.

이 결과들의 후속조치로서 P&WC와 국방과학연구소는 엔진 운용에 있어서 연료 탱크 세척 (Cleaning 또는 Flushing)을 수행할 예정이다. 이와는 별도로 기존에는 연료 필터 주기 점검사항이 없었으나, 최초 15시간 운용 후 점검에서 점진적으로 늘려 최종적으로 100시간 운용마다 점검하는 방안을 추진할 예정이다.

#### References

1. Pratt&Whitney Canada, "PT-6A-60 Series Training manual," 2007.
2. Kim, I.S., Hwang Y.H., Sohn K.S., Lee, J.H., and Sohn, B.H., "Blocking of Fuel Filter in Aircraft by an Accelerator Blooming," *Elastomers and Composites*, Vol. 49, No. 1, pp.1-12, 2014.
3. Nilmini, A.H.L.R., "Blooms and Bloom like phenomena," *Bulletin of the Rubber Research Institute of Sri Lanka*, Vol. 43, pp. 24-28, 2001.
4. Usmani, A.M., "Chemistry and technology of polysulfide sealants," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, Vol. 19, No. 2, pp. 165-199, 1982.