

# 제트油의 전략적가치 (下)

- 대한석유회 협보실 -

**제트추진** 원리를 군용기에 응용하는데 있어서 선도적인 위치에 있던 獨逸의 역할은 폐전과 더불어 막을 내렸으며, 아울러 제트연료 개발의 대열에서도 물러나게 되었다. 그러나 戰時에 軍의 후원이래 추진되던 제트엔진 및 연료의 개발기술은 전후에도 퇴화되지 않고 남아 있었다.

47년 음속돌파와 초음속비행의 실현으로 정교한 세세대 제트연료의 등장은 필연적이었다. 예를 들어 47년 10월 14일 美공군 Charles Yeager대위가 音速의 속력(764mph)으로 비행한 Bell XS-1機는 액체산소 288갤론외에 알코올과 물을 5:1로 섞은 300갤론의 혼합연료를 사용하였다. 그러나 이 600갤론의 연료는 최고속도비행 2분30초만에 소모되었

다. 사실 XS-1機는 랜딩기어가 과도한 하중을 지탱할 수 있도록 설계되지 않았기 때문에 어떠한 경우라도 연료를 機體에 남기운채 착륙한 적이 없었다. 고성능엔진을 장착한 초음속제트기도 비행속도는 엔진의 추진력에 의해서보다 공기역학에 의해 제한을 받는다는 사실이 고려되었다. 따라서 40년대말까지 전투기들은 戰前부터 獨逸의 연구결과에 의한 後退翼(swept-back wing)모형을 따르고 있었다. 그후 54년 美國 GE社에 의한 核추진제트엔진의 성공적 시험은 가장 획기적인 업적의 하나로 평가된다. 여하튼 다양한 군사상의 필요성에 의해 연소효율을 극대화하기 위한 연료의 최적배합에 과학적 연구노력이 경주되어졌으며, 그 결과 서로 다른 특수한 용도를 가진 여러종류의 군사용



제트연료가 탄생되었다.

동시에 여객기로서 제트기의 상업적 목적을 위한 실용화가 진행되어, 52년 5월 2일 British Overseas Airways社는 36인승 제트여객기를 런던-요하네스버그간(로마, 베이루트, 카르툼, 엔테베, 리빙스턴경유)항로에 첫 귀항시켰다. 군용 제트연료의 다양성에 반하여 제트여객기의 연료는 오직 2종류만이 사용되었는데, 두가지 모두 燈油를 기본으로 하고 氷點만 달리한 것이었다. 즉, Jet-A油와 그것의 아류인 Jet-A1이 그것이다. Jet-A油의 기원은 47년 美國 정부에 의해 제정되고, 후에 58년 국제기준으로 채택된 「품질가이드라인」에서 비롯되었다. 그후 Jet-A油의 結氷과 연료체계 장애문제 등을 개선하여 氷點을 보다 낮춘 Jet-A1의 규격이 59년에 제정되었다. 이로부터 제트여객기 연료의 국제기준으로서 Jet-A1油가 통용되고 있으며, Jet-A油의 수효는 거의 전적으로 美國 국내선여객기에만 국한되고 있다. 燈油제트연료는 대부분의 군용기에 꾸준히 채택되고 있으나 美國만은 군용기 및 여객기의 연료선택에 있어서 독자적으로 휘발유/나프타기준 제트연료를 선호하고 있다.

美國은 처음에는 군용기에 있어서 英國과의 戰時협력상 燈油기준 제트연료를 사용하였다. 美國이 燈油를 기준으로 한 JP-1제트油를 최초로 규격화한 것은 44년이다. 그러나 JP-1의 공급상의 문제로 인해 美國産原油에서 收率이 높고, 생산비가 낮으며, 연소성 및 점화성이 좋고, 低溫에도 강한 휘발유기준 제트油가 매력적인 대체연료로서 부각되었다. 이로부터 美國은 휘발유기준 제트油에 우선순위를 두고 다각도로 시험을 거친 끝에 51년 JP-4油를 공식군용 제트연료로 채택하였다. (한편 美國은 52년 自國의 수송기種에 JP-5로 명명된 燈油기준 제트연료를 사용키로 하고 高발화점에 대한 규정을 정하였다). 이후 JP-4油는 自國 및 우방국에서 차지하는 美製제트기의 우월한 위치에 힘입어 세계의 보편적인 군사용 연료로 사용되었다.

제2차세계대전이 英國과 獨逸에게 각각 燈油 및 輕油기준 제트연료의 실용화로의 접근기회를 제공한데 반해, 美國은 유럽戰에의 참전예고에도 불구하고 50년 韓國전쟁이 발발하기까지 휘발유기준 제트연료의 실전경험을 갖지 못했다. 50~53년에 걸친 韓國전쟁에서는 최초로 쌍방모두에서 제트기가 크게 활약하였다. 美國의 JP-4油는 韓國의 추운 기후조건아래에서 이상적인 성능을 발휘하였다.

그러나 수년후 적도근처 베트남전쟁에서 JP-4油에 대한 평가는 크게 달라졌다. 베트남에서는 주로 헬리콥터와 지

상근접지원비행기의 이용이 필수적이기 때문에 휘발성이 강한 JP-4油는 위험성을 내포하였다. 즉 대부분의 작전이 적의 지상화기로부터 공격받기 쉬운 低空에서 이루어지기 때문에, 소형화기가 기체를 관통하였을 경우 연료탱크의 폭발로 많은 수의 헬리콥터와 비행기들이 손실을 입었다. 또한 지상병참기지에서의 취급·보관중에도 베트콩의 박격포공격에 의한 연료의 전소 및 폭발의 취약성도 안고 있었다. 따라서 이러한 상황을 고려하여 美공군전략사령부는 67년에 JP-4油를 보다 안전한 연료로 대체할 것을 공식적으로 제기하였다.

Jet-A油는 氷點이 높아 처음부터 논의의 대상에서 제외되었다. 그러나 Jet-A1(JP-8)油는 결빙점과 그로인한 비행중 급유시간 지연 등의 문제가 있음에도 불구하고 유망한 연료로 고려되었다. 따라서 JP-4油와 JP-8油의 기술적 특성과 작전수행능력을 비교하기 위한 시험이 다각도로 전개되었다.

석유연료는 일상의 액체상태가 아닌 증기로서 점화되기 때문에 연료의 시동특성에서 휘발성이 중요한 지표로 꼽힌다. 그러나 高휘발성이 低溫시동과 특히 고공에서의 엔진 재점화를 용이하게 한다 할지라도 군용 제트연료는 低휘발성 연료도 혼합되어 있어야 한다. 고공에서는 大氣壓의 감소로 액체속에서 공기의 용해도가 떨어지며, 未용해된 공기는 연료증기의 형태로 분사되어 문자 그대로 연료증발현상을 초래한다. 이것은 심각한 연료의 손실이다. 이러한 문제점에 대한 대책으로서 加壓연료탱크의 사용을 들 수 있다. 또 다른 대안으로서 고공에서의 찬기온은 기화를 억제하며, 연료증발을 둔화시키는 역할을 한다. (그러나 이것은 音速 이하의 속도에서만 적용되며, 초음속비행에서는 高熱에 의한 반대효과가 나타난다) 마하1의 속도를 넘어서면 빠른 공기의 흐름이 기체표면에 마찰되어 열을 발생시키며, 나아가 연료에까지 전달되어 고공기화 현상이 더욱 심화된다. 결과적으로 초음속에서는 JP-8油가 연료의 안정성면에서 JP-4油보다 유력하며, 음속이하에서는 JP-4油가 선호되고 있다.

연료단위당 에너지함량으로 정의되는 에너지집약도는 연료의 에너지산출량을 측정하는데 중요한 요소이다. 高에너지집약도의 연료는 부피당 에너지산출량이 큰 반면 低에너지집약도의 연료는 단위무게당 에너지산출량이 크다. 따라서 低에너지집약도의 연료는 전투수행시에 특히 무거운 탄약을 적재하고 이륙·비행해야하는 전투기와 전략폭격

⑥ 연료전환프로그램에 따른 연료수급시장의 충격완화를 위해 精油業者에게 미리 그 실시가 통보되었다 할지라도, 영향을 받지 않을 수 없는 상업부문시장은 상당히 불확실한 양상에 놓이게 될 것이다. 美軍의 JP-8로의 전환은 그 예상규모로 보아 어느 한 나라가 아니라 유럽의 제트연료 需給균형에 큰 영향을 미칠 것이 확실시 된다. ㉿

기에 일반적으로 사용되고 있다. JP-8油와 JP-4油를 비교하여 볼 때, JP-8 3천갤런을 실은 제트기는 같은 양의 JP-4를 사용할 때 비해 연료간 규격상의 차이로 인하여 약 1천파운드의 하중을 더 받는 것으로 계산되며, 따라서 요격능력과 내습능력에서 떨어지는 것으로 나타나 있다. 반면 JP-8油는 열량이 높아 적재물이 가벼울 때는 3~5%까지 작전반경을 확대시킬 수 있으며, 연료조달비용면에서 볼 때 BTU당 1달러 정도의 예산절감이 가능하다.(쿠르즈미 사일은 제한된 부피때문에 高집약도의 연료를 사용하며, 이 색다른 연료는 매우 값이 비싸고, 평상온도에서도 결빙되기 때문에 조작 및 저장에 까다롭다.)

美國이 추진중인 연료의 안정성제고는 바로 유난히 인화점이 낮은(-20F) JP-4油의 발화를 억제시키려는 노력과 일맥상통한다. 전투에서 군사적 충돌은 공중피격 또는 이·착륙시에 발생되기 때문에 「충격」과 「휘발성」과의 관계는 중요하게 고려되어야 할 요소이다. 액체상태 자체로서의 석유연료는 스스로 발화하지 못한다. 다만 충돌에 의한 충격에서 발생된 증발기체가 機體를 화염에 휩싸이게 하고, 승무원을 희생시키는 것이다. 68년에 종결된 연구결과에 따르면 JP-4油의 휘발성을 둔화시키는데 거의 성과를 거두지 못했으나, 보다 휘발성이 약한 JP-8油는 겔(gel)과 기화억제첨가제를 사용함으로써 안전도를 높일 수 있었다. 이후 JP-4油를 존속시킬만큼 충분히 유리한 조건이 발견되지 않아 美空軍은 표준제트연료로 JP-8을 선택하였다. 그러나 美空軍이 東南아시아에서 JP-8을 사용해본 경험이 없는 것이 문제점으로 드러났으나, 곧 美國의 관심은 JP-4와 JP-8이 함께 사용되어온 NATO쪽으로 돌려졌다. 왜냐하면 73년의 石油危機 이후 軍용·제트연료의 선택에 있어서 화학적 및 물리적특성 못지않게 연료의 가격과 공급의 안정성이 부각되었기 때문이다.

### ◇ NATO의 제트연료 전환

JP-8이 보다 바람직한 연료로 美軍에 의해 평가된 이후, 76년에 이르러서야 NATO의 國防長官들은 다음 사항을 합의하였다. ① 향후 신설되는 지상기지 軍용기는 JP-8油의 사용에 적합하도록 설계될 것, ② 저장시설에 대한 논의를 포함하여 기존 지상기지 軍용기의 표준연료로 JP-8油의 채택을 위한 타당성검토를 행할 것 등이 그 내용이다. 당시 프랑스와 英國만이 軍용 제트연료로 JP-8을 사용하고 있었으며, 따라서 NATO의 다른 회원국들은 기존 비행기를 개조하든가 아니면 JP-4를 계속 사용하든가 하는 선택의 기로에 놓여지게 되었다.

79~80년의 제2차 석유위기 이후 연료비의 부담증가는 연료단일화의 합의를 이루는데 있어서 가장 민감한 변수가 되었다. 왜냐하면 국가에 따라서 JP-8이 JP-4보다 싼 곳도 있는 반면, JP-4가 갤런당 7센트까지 더 비싼 곳도 있었기 때문이다. NATO Pipeline Committee의 관할아래 끈질긴 협상이 계속되었던 끝에 86년 5월에 이르러 全 회원국의 연료를 JP-8로 전환한다는 최종성명이 발표되었다.

그러나 일부국가들의 JP-4 재고량이 2년간의 소비량에 달하기도 하여 연료전환은 점진적으로 진행될 예정이다. NATO 파이프라인시스템은 연료전환에 발맞추어 改造 및 改裝작업이 진행될 예정이며, 여러지역에 결빙제어주입시스템을 설치할 예정으로 있다. 연료전환이 완전히 이루어지면 지상기지에서도 연료의 안정성은 제고될 것으로 보이며, 특히 엔진운전중 재급유시에도 안전도는 크게 향상된다. 결국 NATO 파이프라인시스템의 현대화에 투입된 수백만 달러는 효율적인 투자로 입증될 것으로 보인다.

## ◇ NATO의 연료전환이 연료시장에 미치는 영향

연료전환프로그램에 따른 연료수급시장의 충격완화를 위해 精油業者에게 미리 그 실시가 통보되었다 할지라도, 그 영향을 받지 않을 수 없는 상업부문시장은 상당히 불확실한 양상에 놓이게 될 것이다. 美軍의 JP-8로의 전환은 그 예상규모로 보아 어느 한 나라가 아니라 유럽의 제트연료 需給균형에 큰 영향을 미칠 것이 확실시 된다. NATO의 5만B/D에 달하는 JP-4 수요중 거의 절반이 유럽주둔 美軍에 의해 소비되고 있다. (그러나 소비량 모두를 유럽시장에서 구입하는 것은 아니다.) 유럽의 정유공장들은 유럽의 JP-4油 시장에서 사실상 공급 독점을 누려왔지만 최근에는 美軍이 가격상의 이유로 JP-4油 구매선을 상당히 변경한 바 있다. 따라서 향후 수년동안 NATO, 특히 美軍이 JP-8을 어디에서 구매할 것인가에 대한 의문이 제기되고 있다.

방위연료공급센터(Defence Fuel Supply Center)의 大西洋/유럽/地中海지역 구매프로그램 아래 유럽주둔 美軍의 소요 연료 구매대행자는 80년대 초기에는 남부유럽의 정유공장으로 부터 JP-4를 대부분 구매하였다. 그러나 이같은 공급 패턴은 84-85년 기간동안 일변하여, 西半球로부터 美國의 JP-4 구매량은 소요량의 24%까지 급격히 감소하였다. 공급선의 변경이 유럽시장에 주는 바람직스럽지 못한 충격을 완화시키기 위해, 美國은 카리브연안과 美걸트灣岸 정유공장들의 JP-8 공급능력 한도만큼 JP-8의 구매에 유연성을 가질 것으로 보인다. 동시에 유럽의 정유공장들은 가격 경쟁력만 갖추 수 있다면 美軍을 상대로 JP-8을 판매하는 새로운 사업개발의 기회를 갖게 된다. 유럽정유공장에 대한 NATO의 JP-8수요는 2만3천B/D 증가한 4만1천B/D에 이를 것으로 추정되며, 이중 美軍에 의한 수요증가분은 4천B/D ~ 2만3천B/D로 전망된다.

기술적인 이유로 인해 연료전환은 석유제품간의 상대가격수준에 영향을 미칠 것이다. 예를 들어 연료전환후에는 상업부문의 有鉛휘발유 수요가 증가하더라도 군용 제트연료의 코스트에 미치는 영향이 전환전보다는 이론상 적어질 것이다. 왜냐하면 JP-4는 한溜分으로부터 생산되는 반면 JP-8은 燈油溜分에서만 증류되는 것이 아니기 때문이다. 그러나 유럽의 휘발유 無鉛化조치와 無鉛휘발유 제조

를 위한 개질연료로서 나프타의 수요증대는 JP-4溜分으로부터 생산된 제품들의 가격상승요인으로 작용할 것이다. JP-4 또는 JP-8 생산에도 마찬가지로 개질원료가 사용되어 無鉛휘발유의 高옥탄첨가제의 생산위축을 초래하고 있다. 그러나 JP-8 생산에는 JP-4의 생산에서보다 개질원료를 적게 소요한다. 따라서 JP-4의 수요감소는 개질원료의 공급부족을 완화시켜 무연휘발유의 생산증대에 도움이 될 것이다. 이것은 또한 무연휘발유의 가격인하압력으로 작용할 것이다.

NATO의 地上兵器연료로서 휘발유와 輕油대신에 JP-8을 사용하도록 하는 제안이 채택된다면 시장전망은 훨씬 복잡해질 것이다. 이렇게 되면 휘발유와 輕油의 수요감소로 인하여 유럽에서 석유제품간 수급불균형이 초래될 것으로 예상된다. 더구나 지상연료로 輕油대신 JP-8을 사용하면 무연휘발유의 가격상승요인이 될 것이다. 왜냐하면 輕油생산은 개질원료를 전혀 필요로 하지 않기 때문에 무연휘발유 생산증대와 무관한 반면, JP-8은 그렇지 않기 때문이다. 그러나 한편으로는 휘발유가 JP-4와 비슷한 溜分에서 생산되기 때문에 JP-8로의 전환은 무연휘발유의 가격인상압력을 상쇄할 것으로 생각된다. 이와같은 2개의 상반된 요인과 기타 다른 고려사항을 연관지어 볼 때에 연료전환이 가격에 미치는 영향의 향방을 가늠하기는 매우 어렵다. 기본적으로 정유공장들은 변화하는 수요구조에 부응하는 제품생산시설을 갖추도록 준비하여야 할 것이며, 동시에 군용 연료와 경쟁이 불가피해질 것으로 보이는 유럽 민간항공의 연료비 부담이 증가할 것으로 예상된다.

## ◇ 연료전환에 따른 공급의 안정성문제

연료전환의 잇점으로 꼽는 공급의 안전보장도 단기적으로 볼 때, 예를 들어 비상시 상업용 공급시설에서도 군사용 연료를 신속하게 공급하게 되는 경우 등에서나 의의를 찾을 수 있다. 장기적으로 볼 때, 정유공장의 생산능력과 재고수준이 충분치 못한 곳에서는 공급의 안전보장을 의도한 JP-8로의 연료전환이 오히려 공급취약성을 내포할 수 있는 것이다. 이러한 원인은 생산공정상의 제약 때문에 JP-8의 생산증대에는 한계가 있는 데에 기인한다. 일정량의 原油로부터 얻을 수 있는 JP-8의 최대생산량은 JP-4의 1/4에 불과하다. 이러한 収率의 제약으로 향후 10년후에는 JP-8의 심각한 공급부족이 우려된다고 나토항공연

구개발자문단 및 미항공관계자는 예상하고 있다.

그런가운데 美國의 정유공장들은 군사상 긴급시에 상업용 비축Jet-A油를 Jet-A1/JP-8로 정제할 수 있는 기술이 있어 유사시 최후의 수단으로 이용될 것이다. 물론 최악의 경우 JP-4油체제로 복귀한다는 시나리오가 있기는 하다. 80년 美國防省의 분석에 의하면 유럽의 정유공장들은 原油로부터 JP-8에 비해 2 내지 2½배나 많은 JP-4를 생산할 수 있으며, 美國의 정유공장들의 경우 2½내지 3배가 되는 것으로 밝혀졌다.

베트남에서 美軍의 경험이 나토관리들에게 휘발성이 강한 JP-4의 위험성을 확신시켜주었다 할지라도, NATO에 있어서는 機體 및 승무원보호를 위한 JP-8의 효용이 東南亞에서보다 감소할 것이다. 왜냐하면 전투성격상 유럽戰에서는 연료에 의해 비행기의 생존능력이 좌우되는 경향이 보다 작기 때문이다. 산악 및 정글이 많은 베트남에서 美軍은 병력수송 및 보급을 위하여 주로 헬리콥터에 의존하였다. 반면 유럽은 지형적으로보아 지상병기의 역할이 보다 클 것으로 예상된다. 더구나 유럽戰에서는 前線이 형성될 수 있으나 베트남戰에서는 안전한 후방지대가 존재하지 않았다. 유럽戰에서는 정교한 地對空 및 空對空 미사일의 중요성에 비추어 볼 때, 연료의 형이 미치는 영향은 매우 미미할 것으로 판단된다. 요약해서 NATO의 연료전환결정은 주요 고려사항인 안전성과 연료의 호환성에서 상당한 잇점이 있는 반면, 유사시 공급능력악화를 초래할 가능성이 있는 것이다.

## ◇ 미래의 제트연료

50년의 역사를 맞고 있는 군용 제트연료는 눈부신 항공술의 발달과 더불어 이에 상응하는 質의 발전이 요구되어 왔다. 예를 들어 연료의 燃燒특성은 아직 중요한 요소이기는 하지만, 이제 초음속의 군용 제트기에서 요구되는 결정적인 조건은 아닌 것이다. 초음속비행의 험한 상황아래에서 제트연료의 역할은 추진력을 얻기 위한 종래의 단순한

연소물에서 벗어나 기체 및 전자체계보호를 위한 熱안정특성까지도 요구하는 단계에 와 있다. 전자장비를 위한 냉각제로써, 엔진오일로써, 또 어떤경우에는 조종실의 공기온도 조절등의 용도로써 機體내부를 순환하는 연료는 潛熱(heat sink)목적에 의해 안정적인 高溫특성을 요구한다.

제트연료의 최적특성은 엔진과 機體의 상충되는 요구특성들 사이에서 절충을 필요로 하며, 또한 공급비용과 기술적제약도 감안된 것이어야 한다. 레이더에 포착되지 않는 「스틸스」전투기 및 폭격기는 연료에 있어서도 최소한의 분사 및 연소징후특성을 요구한다. 이것은 군사용 목적이 지닌 독특한 요구특성을 단적으로 나타내는 예이다. 연료의 특성은 비행기의 엔진 및 동체의 설계에 결정적 영향을 미치며, 반대로 엔진 및 동체가 특정한 조건의 연료를 요구할 수도 있다.

앞으로 군용 및 상업용 항공기가 極초음속(마하5이상)시대에 진입하려면, 이에 적합한 연료의 개발은 과거 음속이하에서 초음속으로 진입시와는 비교할 수 없는 기술적 진보를 필요로 한다. 극초음속비행시에는 機體가 받는 공기의 압력이 심하게 가증될 것이기 때문에 연료의 역할이 변수로 작용할 것이 불가피하다. 여기에 요구되는 연료의 연소 및 열특성중에는 서로 극단적으로 상충되어 하나의 석유연료에서 도저히 공존할 수 없는 성질의 것이 많다.

몇몇 전문가들은 종래의 제트연료, 또는 첨단석유연료, 심지어 內熱연료(열을 흡수하는 화학반응을 일으킴)도 불충분한 潛熱능력과 바람직스럽지 못한 급속한 熱遞減때문에 극초음속비행에는 적합치 못하다고 말하고 있다. 또한 분말의 슬러리연료, 특히 붕소타입은 有毒性으로 인해 적합치 않은 것으로 생각되고 있다. 일부 전문가에 의해 低溫연료(沸點-150F이하)가 가장 유력한 후보로 떠오르고 있다. 이러한 견해에 의하면 최초의 극초음속비행연료는 수소와 메탄성분의 연료가 될 것이며, 다음세기경에 인간은 군사적 필요성의 결과에 의하여 믿을 수 없는 속도로 비행하게 될 것이다. □〈피트롤리엄 이코노미스트 87-6〉

바른마음 바른자세 다져지는 신뢰사회