

명주에서 싹튼 화성 산업

- 나일론, 첫 합성섬유(1) -

1. 실험실적 개발

나일론은 실험실에서 시장에 진출할 때까지 5년이란 짧은 시간이 걸린 상품으로 만일 듀폰사에서 나일론 프로젝트를 너무 신중한 나머지 오랜 시간에 걸쳐 진행시켰더라면 비용이 엄청나게 들었을 것이다.

나일론이 그렇게 효율적으로 개발된 주된 이유는 2가지가 있다. 그 하나는 새 물질(나일론)에 대한 제일 큰 시장은 풀 패션(full Fashioned, 완전성형) 스타킹이어야 한다고 초기에 결정한 것이다. 예비실험에 의하여 나일론은 합성물질로는 처음으로 모든 종류의 필라멘트나 실, 코팅, 필름, 플라스틱으로 성형시킬 수 있음이 밝혀졌다.

그러나, 듀폰사의 경영진은 나일론의 셀로판, 사진 필름, 가죽과 양모도 대체할 것으로 보는 연구자들의 열망에 흔들리지 않고 오직 실크 스타킹만을 집중개발 대상으로 삼았다. 실크 스타킹은 빈부노소를 막론하고 그들의 자유, 민주 그리고 자존심의 상징이 되었다. 매해 약 7천만 달러의 실크가 스타킹이 되었으며 1년 동안 미국 여성 1인당 평균 8켄레를 신은 폭이 되었으니 듀폰 경영진은 이 한가지 시장에 초점을 맞추어 생산공정 개발과 판매 개발의 두 부서를 집중 독려하였다.

두번째로 지적된 나일론 성공의 이유는, 그 개발 단계에서 한번에 한 단일 공정만을 철저히 연구하게 하고 그것이 끝나고나서야 다음 개발 대상이 되는 공정으로 옮겨가게 하는 방침을 썼다는 점이다. 따라서, 듀폰 경영진은 이 지정된 한가지 공정 개발에만 온 정성을 다 했다는 것이다. 물론 이런 전략은 어떤 한 단계의 연구가 이루어지지 않으면 전부를 망치게 하는 단점이 있다.

그럼에도 불구하고 듀폰이 이런 전략을 택했기 때문에 성공했다고 하는데는 이렇게 “저울질 된 위험(calculated risk)”을 용감하게 택한 경영진의 능숙한 판단력을

높이 평가해야 할 것이다. 그러나 여기서 더욱 주목할 점은, 일이 잘 안될 때에도 주방침을 포기하지 않고 시종일관 버티어내는 그 참을성, 인내력의 소치라는 것이다.

그 당시 연구 감독자이었던 크로포드 에이취 그린월트(Grawford H. Greenwalt)가 “초기에는 오직 ‘강행과 억지’로 임무를 완수하였다”고 회고할 정도로 모든 개발 과정이 쉽고 순조롭게만 진행되는 것은 아니었는데도 그 어려운 과제를 비교적 일하기 쉽게 해 줌으로써 끝내 실크보다 싼 값으로 나일론을 생산하게 이끌어 갔다.

또 하나, 연구개발이라는 어려운 일을 해내기 쉽게 해 준 것은 듀폰사의 확고 부동한 특허의 정책이다.

나일론은 의심할 것 없이 듀폰의 발명품이었다.

어떤 다른 회사도 이익을 제기할 수 없었으며 경쟁사에 대한 염려는 전혀 필요 없이 오로지 나일론을 가능한 한 싼 비용으로 생산하기 위해 개발 전략을 세우고 뚜렷한 시장성을 추구하였으니, 회사의 강한 특허권이 이런 제품을 만들 수 있게 한 것이다.

듀폰의 신속하고 효율적인 나일론의 개발은 그것이 완전히 새로운 기술을 필요로 한 것이라서 놀랄만한 것이었다. 완전히 새로운 합성섬유 분야에 진입하기 위하여 듀폰사는 여러 면에서 그 당시의 기술 수준을 뛰어 넘어야 했다.

화학자인 Charles M. A. Stine의 기초 연구 계획은 이 회사의 나일론 개발에 결정적인 선수권을 주게 된 것이고 더욱 중요한 것은 월러스 에이취 카로더(Wallace H. Carothers)의 축합중합(condensation Polymerization)의 특성에 관한 연구이었다.

그의 이론은 개발 연구원들이 이 고분자 물질을 상업적으로 제조하는데 필요한 뚜렷한 기본적인 도구가 되었다. 촉매와 일반 화학 공학에 관한 기초 연구도 이루어져서 듀폰의 과학자들은 이 어려운 분야에 있어서 항상 시대를 앞질러 갔다.

나일론 개발이 쉬운 것이 아니었고 그 결과도 1934년까지는 확실하지 않았던 것을 듀폰의 결함이 신비스럽게 맞은 결과라고 할 수 있겠다.

실험실에서 만든 조그만 시험편으로는 새 섬유 나일론이 어느 용도에 좋은 지

를 결정할 수가 없었다.

그런데 나일론 발견 직전에 듀폰의 화학본부(Cheical Department) 및 레이온 본부(Rayon Department)에서는 섬유를 과학적으로 평가하는 방법을 연구하고 있었다. 그래서 실험소(Experimental Station)에서는 물리학자인 존 비 마일스(John B. Miles, Jr)가 섬유의 특성, 예를 들면 탄성등을 실험실에서 시험으로 정의하는 방법을 마련하였다. 이렇게 만든 그의 평가 방법도 그 당시 섬유 과학(Fiber Science)의 수준이 아직 초창기이었으므로, 이 평가로는 불충분하여 나일론으로 직물을 짜서 실제로 옷을 만들어 입어볼 때까지 그것이 정말 우수한 섬유라는 것을 몰랐었다.

1934년 여름, 섬유 프로젝트는 카로더스팀의 주된 활동 초점이 되었다. 그의 조수들은 2개 내지 10개의 탄소 원자로 구성된 이염기산과 디아민(diamine)의 여러 가지 조합의 폴리아미드(polyamide)를 만들기 시작하였다. 81개의 화합물 중에서 2-10, 10-6, 5-6, 5-10과 6-6만이 가망성이 있어 보였다. (위의 숫자들은 여러 나일론에서 각각 디아민과 이염기산에 있는 탄소 원자의 수를 나타낸다) 결국 제랄드 제이 버어쳇(Gerald J. Berchet)이 1935년 2월 28일 처음으로 만든 6-6이 듀폰의 나일론이 되었다.

처음에 카로더스는 그의 노력을 5-10에 집중하였다. 충분한 중합체를 만들어서 방사하고 편물 시료를 만들어 레이온 본부에 시험 의뢰를 하였다. 그 당시 신입 연구원이고 후에 노벨 수상자가 된 폴 제이 플로리(Paul J. Flory)는 이것을 그의 보고서에 다음과 같이 기록하였다.

“시험에 의하면 폴리아미드가 합성섬유로서 훌륭한 가능성이 있는 것을 알 수 있는데 그것은 탄성이 크고 절단강도가 물에 영향을 받지 않고 피로 저항성(fatigue resistance)이 상당히 큰, 탁월한 성질을 가졌기 때문이다. 그러나 5-10 중합체는 저온(190℃)에서 용융되기 때문에 실제의 다림질 온도에 견디지 못할 것이다.”

5-10 중합체의 주된 장점은 그 공정성에 있다. 즉 쉽게 중합할 수 있고 방사도 용이하다. 그런데 중합체 나일론 6-6은 상당한 고온(250)에서 용융되어 좋은 섬유로 만들 수 있으나 공정성이 어려울 것으로 보였다.

그러나 중간체 부이사인 엘머 케이 볼톤(Elmer K. Bolton)은 5-10의 기초 원료 값이 비싸고 용융점이 낮으므로 다른 장점은 있으나마나 하다고 주장했다. 그는 값싼 벤젠(benzene)을 개시 화합물로 하여 만들 수 있는 6-6 중합체를 더 좋아하였다. 그리하여 6-6 중합체 개발을 강력 추진하려는 볼톤의 결정에 따라 다른형의 나일론 연구는 중단되었다.

나일론 6-6의 초기 선정에 의하여 중요 문제는 해결된 것으로 보아야 했다. 그런데 두가지 원료 중에서 아디프산(adipic acid)만이 독일에서 대량 생산되었고 다른 한가지인 헥사메틸렌 디아민(hexamethylene diamine)은 실험실 수준이었다. 이 두 원료로부터 고분자량의 중합체를 만들기 위해서는 정확한 분자당량으로 결합되어야 한다.

둘 중의 어느 한가지가 0.1%정도 많이 있어도 중합체의 성질은 이것도 저것도 아닌 것이 되어 버린다. 그래서 무게를 정확히 다는 대신에 산과 아민의 염(salt)을 형성시키는 용액을 만들어 염을 용액으로부터 결정화시키고 중합에 사용하는 것이다. 그러나 두 가지 성분을 정확히 배합하면 분자량이 너무 커져서 공정에 불편을 가져오므로 고분자 사슬 길이를 조절하는 방법이 개발되어야 했다. 또 일단 만족스런 중합체가 만들어진다면 해도 그것으로 섬유를 만들 수가 있어야 했다.

듀폰의 섬유 방사 기술은 용융방사가 아니라 용액방사에 의존하는 레이온과 아세테이트에 관하여 개발되었는데 나일론의 용액방사는 화학 본부의 마음에 들지 않았다. 따라서 그들은 아주 간단하고 빠르고 싼 공정, 즉 용융방사를 시도하려고 노력하였다. 이 공정은 고체 중합체를 꿀과 같은 액체가되도록 녹이고 압력으로 금속판의 아주 작고 많은 구멍을 통하여 내보내는 것이었다. 이렇게 압출된 필라멘트는 냉각에 의하여 고체 섬유가 되는 것이다.

나일론의 용도가 확정될 때까지 이 섬유의 개발 연구원들은 가는 필라멘트를 20을 또는 30을의 다발로 하여 연사한 후에 생기는 여러 가지 문제에 관해서는 별로 생각하지 않았다. 따라서 나일론을 보통 섬유 기계로 시험하고 세척이나 염색 같은 상업용 공정의 시험을 하였다.

나일론에 관한 주공정의 개념 정리를 한 후에 화학자 및 기술자들은 각 공정에

관한 집중 연구를 할 수 있었다. 새 문제가 생기면 팀을 더 세분하여 나일론의 개발은 사실상 수천 개의 작은 문제들을 해결하여 이루어진 것이다. 그러나 이와 같은 공학기술은 나일론을 만들어야 한다는 대결정 때문에 비로소 시작할 수 있었던 것이다.

이와 같은 결정은 이미 일찌감치 내려졌던 것이고 어떤 장애물을 만나도 의심하지 않았다. 전반적으로 말하면 나일론의 개발은 체계적이고 질서 있게 진행되었다고 볼 수 있다.

듀폰은 나일론 업무를 화학 본부와 레이온 본부가 맡도록 하고 여러 가지 주결정에 실제로 참여하지 않았다. 그러나 이에 필요한 모든 큰 경비지출은 승인해야 하기 때문에 프로젝트의 진행 상황을 잘 파악하고 있었다. 또 중역회의는 관련 이사들에게 두 본부의 업무에 큰 변화를 강요하지 않고 감시만 하였다. 대부분의 경우 중역회의는 측면에서 지원만 하였다. 그러나 연구에 참여한 이들은 중역회의가 나일론 상품화의 조기 달성을 위하여 채찍질을 하였다고 기억하고 있다.

화학본부 이사인 엘머 케이 볼톤(Elmer K. Bolton)과 레이온 본부 부장인 레오나드 에이 여엑스(Leonard A. Yerkes)가 나일론 개발에 책임진 이들 이었는데, 여엑스는 1920년대 초기에 듀폰이 레이온 산업을 시작할 때 레이온 산업을 이끈 사람으로 레이온 본부에서 나일론 프로젝트를 관리하게 하였다.

그러나 실제로 나일론 프로젝트를 관리한 사람은 어네스트 케이 글래딩(Ernest K. Gladding)이었다. 글래딩은 레이온 공정 연구에 8년간의 경험이 있는 조지 프레스톤 호프(George Preston Hoff)를 화학 본부의 연락책으로 삼았다.

또한 화학 본부의 볼톤 이사는 전 레이온 본부 연구 이사인 어네스트 비벡거(Ernest B. Bengert) 부이사에게 나일론 프로젝트를 담당하게 하고 그 외 나머지 관리부 간부들도 나일론 프로젝트 관리를 돕게 하였다.

책임연구원 중의 한 사람인 크로포드 그린 월트는 그의 화학 공학의 기초 실력과 책임감 때문에 중요 역할을 담당하였다. (1948년 그린월트는 이 회사의 사장이 되었다.)

나일론 개발에 여러 난관이 있는 것이 확실하므로 레이온 본부는 비싼 나일론

이 초기 몇 년 동안은 싼 레이온과는 경쟁이 되지 않는다고 생각했다.

다만 레이온은 폴 패션 스타킹에 알맞지 않으므로 할 수 없이 나일론에 치중하기로 하고 레이온 본부와 암모니아 본부는 1936년부터 프로젝트 경비를 지출하기 시작한 것이다. 이 날짜 이후 화학 본부, 레이온 본부, 암모니아 본부의 3연구부는 연구 업무를 분담하였다. 즉 암모니아 본부는 중간체 화합물을 만들고 화학 본부는 중합과 용융방사를, 레이온 본부는 섬유 용도에 집중하였다. 이 방법이 적중하였다. 그리하여 듀폰의 연구 부서는 회사의 중역진에게 그 회사가 참으로 유망한 새 재료를 갖게 된 것을 증명하게 되었다.

2. 나일론 개발의 3단계

나일론 프로젝트는 3단계로 나누어 설명할 수 있으며 이렇게 구분한 것은 각 단계의 문제와 목표가 서로 다르기 때문인 것으로 위에서 설명한 실험실적 나일론 개발이 제 1단계이다. 1935년 7월 나일론 6-6을 개발하려는 볼튼(Bolton)의 결정에 따라 업무는 새 섬유가 상업적으로 성공할 수 있는지를 결정하는 데에 집중되어 있었다.

듀폰은 원리상 생산공정이 원활히 돌아가고 중합체의 물리적 성질이 좋은 것으로 인정된 후에야 나일론이 새로운 방직섬유(textile fiber)로서 희망이 있는 것으로 결정하였다. 이것이 개발의 제 2단계로서 1936년 여름부터 1937년 말까지 계속된다. 이 기간 동안 나일론은 가망이 있을 뿐만 아니라 실용성이 있다는 것을 보여주어야 했다.

또한 폴 패션 스타킹에 쓰일 고품질사의 생산에 집중하기로 결정한것도 중요한 사항중의 하나이다. 그래서 개발 연구원들에게 재현성 있고 예측할 수 있는 결과를 얻는데 그치지 않고 위에서 지적한 것과 같이 정확한 목표가 제시되었다.

그런데 듀폰이 나일론 실로 질기고 좋은 스타킹을 만들 수 있는지 아는 방법은 몇 켄레를 짜보아야 하는 것이었으므로 이 시험이 끝날 때까지 기다릴 수 밖에 없었다. 1937년 말에야 듀폰은 소규모 장치로 실크 스타킹과 견줄만큼 좋은 나일론 스타킹을 편성할 수 있는 실을 생산하였으며 만족스러울 만큼 우수한 제품을

만들 수 있다고 자신하자 대규모 생산체제에 돌입했다.

개발의 초기 단계에서 가장 시급하고 또 중요했던 문제는 중간체 화합물, 특히 헥사메틸렌디아민(hexamethylenediamine, HAD)을 만드는 계획을 세우는 것이었다. HAD는 다단계 합성이 필요한 제조하기 어려운 화합물이다.

아디프산을 아디포니트릴(adiponitrile)로 변환시키는 것이 공정에서 아주 중요한 과정이다. 그래서 나일론 6-6을 상업화 하려고 결정하기 전에 증기상 축매 반응이 시도되었는데 이에선 두 가지 어려움이 있었다. 즉 아디프산이 기화온도에 아주 불안정한 것과 아디포니트릴의 수율이 35% 밖에 안되어 경제적인 공정이 될 수 없는 것이었다.

첫번째 문제를 해결하기 위하여 기술자들은 회전 원판을 설계하여 가열 표면에 아디프산의 얇은 막을 던지는 방법을 시도하게 된 것이다. 그 때 액체는 고온에 최소 시간 노출하게 된다. 수율은 신축매를 사용하여 85%로 만들었다. 이 작업에 있어서 듀폰은 불가해의 축매 기술과 화학 공정 설계의 축적된 경험으로 큰 도움을 받았다. 소규모 장치로 이 공정이 성공했음을 확인한 후 대규모 장치의 설계는 이런 분야에 경험이 많은 암모니아 본부가 담당하였다.

중간체 몇 파운드를 얻자마자 중합 시험을 시작하였는데 주목적은 균일한 섬유를 만들 수 있는 중합체 제조 방법을 찾는 것이다. 이것은 고분자의 분자량을 조절하는 것으로 정확한 순간에 반응을 정지시키는 것을 말한다. 실험을 거듭한 결과 소량의 아세트산(acetic acid)을 첨가하면 중합도가 조절됨을 알아냈다. 이것은 많은 시간과 노력에 의하여 알아낸 새로운 해결책이었다.

HAD 공정과 중합체의 표준화 이외에 개발의 초기에 듀폰이 직면한 또 한가지의 주된 문제는 중합체를 섬유로 방사(spinning) 하는 것이다. 처음에는 용융 및 용액방사를 모두 시도하였는데 용액방사에 있어서는 나일론 중합체를 가열 페놀(phenol)이나 포름아미드(formamide)에 용해시켜 시럽(syrup)과 같은 용액을 만들고 이것을 스피너렛(spinneret)을 통하여 밀어 보내는 것이다. 필라멘트가 스피너렛으로부터 나오면 용매는 증발하여 고체 섬유가 형성되는 것이다.

용액방사는 나일론에 사용되는 용매의 취급과 회수의 비용 및 그 위험성 때문

에 가망이 없게 보였다. 반면 용융방사는 단순하지만 260℃의 온도에서 스피너렛으로 당밀과 같은 유체를 정확하게 송출시키기 위해 신기술의 개발이 필요하였다.

또한 그 용융 온도에서 어떤 나일론 중합체는 분해하는가 하면 어떤 것은 기체 물체를 생성시키기도 했다. 비록 분해 중합체의 양은 적었지만 압출된 필라멘트는 기체 방울(gas bubble)이 스피너렛 구멍을 통과할 때에는 끊어지므로 필라멘트가 끊어지지 않고 무한 길이로 방사되려면 연속 방사 공정이 필요하였다. 이 무렵 (1935년 중엽) 듀폰 화학자들이 피하주사침을 통하여 연속적으로 만든 실의 길이는 겨우 1마일 정도였다. 1936년 초기, 용융방사를 실행할 수 있는 공정이 아직 요원하였는데도 듀폰은 이를 집중 연구하기 위해 용액방사 연구는 중단해 버렸다.

그것은 이 회사가 이렇게 만든 새 섬유의 성질로 보아 이 새 섬유가 상당히 큰 가능성을 가진 것으로 생각했기 때문이다.

생성된 나일론 섬유의 성질에 만족한 나머지 연구팀은 너무 열중하여 제조 공정에 관해서는 간단히 낙관하였다. 1935년 말, 중역회의 임원인 볼톤은 그의 연보에서 “나일론은 모든 상업용 섬유보다 강력이 크고 또 여러 상대습도에서 우수한 탄성회복을 가진 섬유이다.”라고 썼다. 이 보고서에서 볼톤은 실크에 관해서는 언급하지 않았으나 그는 분명히 나일론을 실크의 막강한 경쟁상대로만 생각하지 않고 다른 천연 폴리아미드인 양모의 대치물도 될 수 있는지 알고 하였다.

나일론 풀 패션 스타킹의 주목표와는 다른 또 한가지의 가장 유혹적인 목표는 양모상 섬유(Wool-like fiber), 즉 W섬유(fiber W)의 개발이다. 합성양모를 만들기 위해 볼톤은 과거에 많은 실험을 하였으나 모든 시도가 실패로 돌아갔는데도 불구하고 합성 양모는 화학자들에게 도전해 볼 만한 가치가 있는 것이었다.

그 때, 합성 폴리아미드가 발견됨으로서 합성 양모에의 한 가닥 가능성이 나타난 것이다. 화학 본부에서의 양모의 형태와 성질에 관한 연구 결과, 양모에 있는 크림프(Crimp)가 양모의 여러 가지 좋은 특성을 부여하는 것을 알았다. 드디어 볼톤의 화학자들은 크림프가 있는 나일론 섬유를 만드는 방법을 발견하였다.

그래서 1936년 말, 조그만 직물 시료를 만들었는데 볼톤에 의하면 외관과 감촉

이 양모와 같고 주름이 오래가고 견습, 어느 조건에서나 구김이 지지 않았다고 한다. 그럼에도 불구하고 W섬유 프로그램을 스타킹 섬유 프로그램에 방해가 되지 않을 정도로만 진척시켰다. 물론 양모 소비는 실크보다 훨씬 많으나 실크만큼 매력 있는 시장은 아니다. 또 양모는 실크의 반값 이하로 매매되므로 듀폰은 나일론이 값싼 섬유와 경쟁하게 되는 것을 마땅치 않게 생각하였다.

개발의 관점에서 보아도 양모상 섬유는 이익이 없었다.

합성 양모는 대부분 직물로 사용될 것인데 그렇게 되면 시험(test)하기 위해 많은 양의 실이 필요하다. 반대로 나일론 스타킹을 짜(편성)는 데는 나일론 10g이면 족하다.

양모 산업을 위하여 듀폰사는 제품의 가능성을 결정하기 위한 충분한 많은 나일론사를 생산할 수 있는 큰 공장을 건설해야 한다. 이런 이유 때문에 듀폰사는 현명하게도 이 계획을 뒤로 미루었다. 그래서 본부장들은 개발하는데 경비가 들고 판매하기는 어렵지만 과학적으로나 기술적으로 더 흥미있는 양모 섬유에 그 이상 관심을 기울이지 않았다. 또한 W섬유는 양모만큼 탄성반발성(resilience)이 크지 못하여 W섬유 프로그램도 중단해 버렸다.

1936년 여름, 듀폰사는 나일론의 대량 개발 체제에 들어갈 준비를 갖추었다. 레이온 본부는 새 섬유가 천연 실크보다 우수한 고품질의 섬유로 파운드당 2달러의 실크 값에 맞먹는 큰 시장을 확보할 수 있을 것으로 보았다. 예비조사에 의하면 나일론사는 연간 생산량 800만 파운드일 때 파운드당 생산비는 80센트이었다. 또 생산량이 100만 파운드라 하더라도 나일론사 생산비는 1.1달러밖에 안된다. 이 계산에 의하여 듀폰사는 작은 생산 규모로도 경제적으로 이익이 된다고 보았다. 아주 조그만 공장도 돈을 벌 수 있었다. 이 낙관적인 예측을 기초로 하여 본부장들은 회사의 나일론 제조 용량을 일산 2파운드에서 100파운드로 확장하여 대규모 생산에 대한 공정 개선과 광범위한 시험을 위한 시료 공급을 계획하였다. 이리하여 나일론은 제2 개발단계로 들어선 것이다.

듀폰사는 나일론이 생산공정이나 제품 성질에 있어서 실용성있는 섬유인가를 결정하기 위하여 상당히 많은 양의 섬유를 제조할 필요성을 느꼈다.

그렇게 만든 섬유는 상업용 편성기로 시험해야 한다. 이 개발단계의 전체적인 목표는 만족스러운 폴 패션 스타킹을 지속적으로 만들 수 있는 섬유를 생산하는데 있었다. 그런데, 섬유 용도 프로젝트는 레이온 본부에 속하고 있었기 때문에 화학 본부는 1936년 가을, 이 업무 분담에 관한 과제를 회의 안건으로 제출하였다.

레이온 본부는 버팔로(Buffalo)의 레이온 공장에 근무하는 프레스턴 호프(presston Hoff)를 월링톤의 나일론 연구실로 보내고 나서부터 나일론 개발의 완전한 동반자가 되었다. 매일 반나절을 나일론에 보내고 있는 부이사 뱅거(Benger)가 호프를 상대하여 연구실 안내를 하였다.

그는 회사로부터 단시일 내에 미래 개발에 효과가 있을 것인지에 관해 알아야 한다는 압력을 받고 있었으므로 호프가 이 일에 대하여 자세히 주의 깊게 보아주기를 바랐다.

그는 호프에게 이 개발에 이미 많은 경비를 썼고 그것은 모두 레이온 본부에서 지불된 것이라는 것을 상기 시켰다. 전반적으로 호프가 볼 때 월링톤은 너무 흥분 상태에서 있어서 그가 제대로 볼 수 없는 것 같이 느꼈다. 그는 그의 상관에 월링톤에서는 나일론에 관한 희망사항이 너무 많고 또 문제의 개진 단계가 중역진이나 모든 관련자들에게 너무 과장되어 있다고 보고 하였다.

그는 신중하게 추정하여 5년 이내에 연생산량이 1백만 파운드가 될 것이라고 예측하여 중역진의 개발에 대한 채찍질 능력을 과소평가하였다. 호프의 소극적인 태도에도 불구하고 레이온 본부는 이 프로젝트에 전력을 다해 협조하였다. 그러자 곧 화학 본부는 나일론 용융방사에서 문제가 생긴 것을 알게 되었다.

이미 1936년 중반에 용융방사로 결정한 것에 대한 반대 의견도 있었다.

볼튼은 용융방사가 일을 해낼 수 있는 지는 확신할 수 없다고 보고하였었다.

큰 문제는 연속 방사로서 이것은 상업 생산 공장에서는 필수적인 것이었다. 실이 끊기거나 스피너렛의 구멍이 막히면 방사 방해가 일어난다.

1936년 12월 글래딩은 방사 시험의 실패를 보고 화학 본부, 특히 그린 월트지(Greenwalt)에게 용액방사를 재고해 보라고 지시하였지만, 뱅거는 그에게 물려서지

말라고 했다. 그래서 용융방사는 계속 연구의 초점이 되었다.

호프와 비스코스 연구이사인 윌리엄 헨리 브래드쇼(William Henry Bradshaw)는 유리로 된 방사 장치를 설치하여 용융 고분자의 거동을 직접 관찰할 것을 제안하여 화학 본부는 이에 유리 장치로 실험해 보았더니 중합체가 분해되어 기포를 발생하고 이것이 스피너렛 구멍을 통과하는 섬유를 절단시킨다는 것을 알아냈다.

나일론 섬유를 처음으로 손으로 잡아당겨 방사 실험을 한 코프만(Coffman)과 용융방사 책임연구원인 조지 디 그레이브스(George D. Graves)는 중합체에 압력을 가하면 기포가 용융 고분자 물질에 용해 될 것이라고 생각하였다. 이 판단이 맞아서 용융방사의 상업화의 주 장애물이 드디어 제거되고 1937년 5월에는 용융 방사의 연속 가동 시간이 10시간에서 32시간으로 늘어났다.

그때까지 듀폰의 개발팀은 표준 균일 상품을 제조하는 목표에 많이 도달하였으나 그래도 아직 스타밍으로 평성된 섬유는 없었다. 그들은 나일론의 전망에 관하여 낙관적이었지만 제대로 된 스타킹을 만들 수 있는지 확신할 수는 없었다.

1937년 2월 레이온 본부 화학연구원인 에버렛 버논 루이스(Everett Vernon Lewis)가 주의 깊게 측정된 몇 타래의 실로 메릴랜드 프레데릭(Frederick)에 있는 유니온 제조 회사(Union Manufacturing Company)에서 처음으로 편성 실험을 하였다.

루이스는 후에 회상하기를 이 실험하는데 철저한 보안이 요구되어 기차에서 잘 때에도 실타래를 안고 잤으며 시험이 끝난 후에도 모든 낙사를 모아서 무게를 달아 섬유가 없어지는 것을 방지하였다고 했다. 프레데릭 스타킹 제조 회사는 이 새섬유로 스타킹을 제조하는 거의 매 단계에서 어려움을 경험해야 했다. 시링 스푼(spool)에서 제대로 풀려나지 않는가 하면 염색 후에는 암회색의 보기 싫은 구김투성이가 되었다. 그러나 불굴의 루이스는 이 모든 어려움을 신재로에 대한 경험 미숙으로 돌렸다.

듀폰사는 폴 패션 스타킹을 짜려면 실의 품질이 아주 좋아야 한다는 것을 그래야 알고 뉴저지(New Jersey)의 분톤(Boonton)에 있는 반 랄테 공장(Van Raalte Mill)에서 많은 시험 편성을 계속하여 4월에는 첫 실험 스타밍을 만들기에 이르렀다. 1937년 7월까지 반 랄테 공장은 듀폰사가 나일론에 관한 정확한 피드백(feedback)

을 할 수 있도록 충분한 스타킹을 만들어 냈다.

레이온 본부의 판매과에서는 “나일론 실이 전 작업 과정에서 충분히 잘 작동했지만 생산된 스타킹의 품질은 여러 면에서 만족스럽지 못하다”고 기록하였다. 눈에 띄는 결정적인 결함은 염색 및 가공중에 스타킹이 구겨지는 것이다. 이 구김살 때문에 스타킹의 모습은 엉망이 되었다. 그러나 수 개월 후에 염색전에 스타킹을 스팀 처리하는 방법에 의하여 이 구김살들이 제거되었다.

1937년 듀폰사에는 추수감사절과 성탄절이 너무 빨리 찾아왔다. 반 랄테 공장에서는 외관이 우수하고 결함이 없는 폴 패션 스타킹 생산을 시작하느라고 너무 바빴기 때문이다. 이 스타킹은 실크 스타킹과 전혀 구별할 수 없었다. 이 때 듀폰 중역진은 확실한 통계는 아니나 나일론에 대한 영인들의 반응에 관한 소식을 알리는 보고서를 손에 넣게 되었다. 56개의 스타킹과 랭제리(lingerie)를 나일론 프로젝트에서 일하는 연구원의 부인에게 분해하고 스타킹에 관한 의견을 들은 결과 대부분의 부인들은 실험용 스타킹이 매우 질기다(내구성이 크다)고 평 하였고 부정적인 것은 스타킹이 쉽게 구김이 가고 광택이 너무 많고 미끄러진다는 것이었다.

일찍이 회의적이었던 호프도 그 때는 데이터가 누적될수록 66섬유(Fiber 66)가 천연 실크에 접근해 가는 것이 아니라 그것을 능가한다는 것을 회사가 믿고 적극 지지한다는 것을 느끼고 “우리가 숲속(위험)을 빠져 나온 것은 아니지만 앞길이 트인 것을 볼 수 있다”면서 많은 문제가 6개월 내에 풀릴 것이라고 장담하였다.

그러나 상업용 공장을 건설하기 전에 듀폰 중역진은 중간 크기의 시험공장(pilot plant)이 필요함을 알고 1938년 1월 12일, 시험 공장 건설을 인가한 것이 개발의 제 2단계를 마무리한 것이다.

지금까지는 나일론이 실용적이라는 것을 알아냈는데 이제는 상업적 규모, 즉 폴 패션 스타킹에 적합한 군제사의 다량 생산 가능성을 알아야 했다.

따라서 이 시점까지 모든 노력은 한 켄레의 좋은 스타킹 제조에 집중되었지만, 이제부터 노력의 초점은 수 백만 켄레의 생산으로 향했다. 이 목표를 달성하기 위하여 실제 계획된 대규모 공장의 1/10 크기의 시험 공장을 설계하여 나일론사

일산 250파운드를 생산하게 되었다.

시험 공장의 목적은 여러 가지가 있지만 그 중에는 서로 상치가 되는 것도 있었다.

첫째 목적은 여러 공정 요소가 실제성(Viability)이 있어야 하는 것이다.

둘째는 제품의 균제성을 결정하고 증진시키는 것으로 특히 실을 10개의 스피너렛 구멍으로 방사하여 균제도가 어느 정도인지를 보는 것이었다.

세번째는 누적된 데이터를 기술본부(Engineering Department)에서 사용하여 상업용 공장에 대한 장치 설계에 사용할 수 있게 하는 것이고, 네번째는 시험 공장에서 편성, 가공 및 마모 시험을 위한 일정 규격의 실을 만드는 것이다.

다섯번째는 실을 제품과 공정 연구에 사용하는 것이다.

특히, 네번째와 다섯번째 목표는 서로 상충되는 것으로 판매 부서에서는 편성 시험을 위하여 품질은 우수하지 않더라도 수 천 파운드의 균일한 실을 요구하고 연구원들은 규격에 제한이 없는, 즉 우수 제품을 생산하는 실험을 하기를 원했다.

호프는 판매 부서보다 연구부에 우선권을 주도록 지시했다.

연구 중역들은 시험 공장을 건설하는데 6개월, 또 공장 건설을 위한 충분한 데이터를 수집하는데 6개월이 걸릴 것으로 생각했다. 이 예측은 적중하였다.

시험 공장은 1938년 7월 11일 시동하고 화학본부는 시험 공장을 새로 설치된 레이온 본부의 나일론부로 이양했다. 글래딩이 부장이 되고 호프는 공장장이 되었다.

시험 공장이 인가되자 실의 가호 문제가 전보다 큰 문제로 대두되었다. 실크 필라멘트는 세리신(Sericin)으로 천연 피막을 이루어 공정 중에 섬유를 보호하고 편성이 끝나면 열탕에서 천연 호료가 제거된다.

그러나, 나일론에는 천연 호료가 없다. 따라서 듀폰은 열탕에서 제거되고 실을 오염시키지 않고 쉽게 피막시킬 수 있고 편성침에 묻어서 쌓이지 않는 보호 피막을 형성하는 물질을 찾아야 했다. 이 가호 문제를 시행착오 방법으로 해결하는데 수 개월이 걸렸다. 처음 레이온 사에 사용되는 호료를 나일론에 사용해 보았으나 합성섬유에 적합하지 않음을 알고 레이온 본부는 화학 본부에 위임하여 새로운

호료를 검토하게 하였다.

그리하여 여러 부서의 연구원들이 미친 듯이 연구하여 나일론을 위한 4성분으로 구성된 호료의 처방을 만들었다. 이와 같은 식의 연구는 어느 면으로 보나 좋은 방법은 아니지만 나일론의 성공적 개발에는 필요했다는 것으로 판명되었다. 성가시던 호료 문제를 제거한 것이 듀폰의 새 나일론 공장이 생산을 막 시작할 때이다.

듀폰 중역 회의는 1938년 10월 중순경 연산 400만 파운드 용량의 공장을 델러웨어(Delaware)에 있는 시포드(Seaford)에 건설하도록 851만 달러를 할당하였다. 장치는 연산 1200만 파운드 생산 용량에 맞도록 충분히 크게 하였다. 또한 이 중역 회의는 일주일 후 또 250만 달러의 경비를 벨레(Belle) 공장에 나일론 중간체 공장을 건설하도록 승인하였다. 시포드 공장은 승인 후 15개월 만인 1940년 1월에 작업을 시작하였다. 그러나 이 규모의 생산으로는 이 회사가 신제품을 공개한 이래로 밀어닥친 많은 수요를 만족시킬 수가 없었다.

듀폰사는 신 섬유를 소개하기 전에 이름부터 지어야 했다.

처음 ‘레이온 66(Rayon 66)’으로 시작하였으나 아무도 이 신섬유를 그런 품질이 낮은 섬유(레이온)와 연관된 이름을 사용하기를 원치 않았다. 1938년까지는 단순히 ‘66섬유(Fiber 66)’라고 불렀지만 이것은 회사가 찾고 있던 인기 있는 이름이 아니었다.

얼마 후에 헤일 차치(Hale Charch)에 의하여 두문자어인 듀파루(Duparoh)를 제안했으나 역시 인기를 끌지 못하였다. 이 섬유에 붙일 이름을 제안하기 위하여 듀폰은 역시 인기를 끌지 못하였다. 이 섬유에 붙일 이름을 제안하기 위하여 듀폰은 글래딩(Gladding), 여엑스(Yerkes)와 그의 조수인 벤자민 엠 메이(Benjamin M. May)로 구성된 위원회를 조직하였다. 약 400개의 이름이 후보로 나왔으나 그 중에는 나일론(Nylon)이란 이름이 포함되지 않았었다. 이 중 어느것도 모든 사람의 마음에 들지 않았다. 그래서 다시 찾기 시작했다. 글래딩은 나일론 스타킹의 올이 풀려져 문제가 되는 것을 생각하여 노런(Norun)을 말했고, 그는 또 이것을 (Nuron)으로 바꾸었으나 이것이 신경강장제의 이름처럼 들려서 r을 l로 바꾸어 늘론

(Nulon)로 고쳤다.

그러나 이것은 그 당시 현존하던 상표와 아주 비슷하여 뉴 놀론(New nulon)이 되어 중복 음절이 되었다. 다음 그는 u를 i로 바꾸어 닐론(Nilon)을 제시했는데 이것은 불행히도 3가지 발음을 할 수 있었다. 즉, 닐론(Nillon), 니일론(Neelon)과 나일론(Nylon)이다. 결국 제일 끝의 것이 선정되어 66섬유(fiber 66)는 새 이름을 갖게 되었다. 듀폰사는 나일론(Nylon)을 상표로 등록하지 않고 아무나 자유롭게 사용할 수 있도록 속명으로 하였다.