

## Nylon개발 50週年 : 그 개발과정과 意味

조 의 환

노벨화학상 수상자인 Alexander Todd<sup>1</sup>은 미국화학회의 C & E News지와 interview에서 化學이 人類를 위해서 공헌한 업적중 가장 큰 것이 무엇이겠느냐는 質問에 대해서 “물론 醫藥品의 발달은 人類를 병으로부터 해방시키는데 많은 공헌을 했습니다. 그러나 역시 高分子化學을 일으키고 발달시킨 것이 어느 것보다도 人類를 가난으로부터 해방시키고 일상생활에 혁명을 가져오는데 크게 기여했다고 생각합니다.”라고 대답했다. 高分子科學의 發達史를 돌이켜 보건데 nylon의 發見 및 開發은 그 里程碑的인 일이었다고 그 이후에 눈부시게 발전한 합성섬유, 고무, 플라스틱과 오늘날의 첨단기술의 基幹을 이루고 있는 新素材를 둘러보면 nylon의 發見이 그 嚆矢를 이루고 있음을 알 수 있다.

Nylon이 Du Pont社의 副社長인 Charles M. A. Steine에 의해서 처음으로 그 商品化가 선언된 것은 1938년 10월 27일의 일이었다고 그 첫번째 本格的인 商品인 女子用 양말이 시판되기 시작한 것은 그 다음 해인 1939년 10월이었다. 실제로 Wallace H. Carothers와 Julian W. Hill이 처음 公式的으로 nylon과 관련된 合成實驗 結果를 보고한 것은 1931년 9월2일 Buffalo에서 열린 美國化學會 第82次年會에서 였다. 그러나 DuPont社는 서울에서 Olympic이 열린 1988년을 정식으로 nylon개발 50주년으로 선포하고<sup>2</sup> Golden Jubilee를 맞이해서 行事도 갖고 nylon에 관련된 몇 가

지 資料들도 公開했다.

Nylon의 發見 및 工業化 과정을 들여다 보면 매우 재미있지만 그와 結연되어 있는 Carothers의 生涯는 짧고 懷絶하다. Nylon의 發見은 흔히 우연히 된 것처럼 알려져 있기도 한데 절대 그렇지 않다. 그 發見은 잘 갖추어진 條件下에서 天才的인 化學者의 피나는 노력과 조직적인 追跡의 結果였으며, 그에 못지 않게 우수하고 推進力 있는 관리 및 經營자들의 作品인 것이다. 오히려 어떤 사람은 실험실에서 일한 Carothers보다 全開發過程을 管轄 추진한 Steine이나 Bolten의 功勞가 더 크다고 본다. 여하튼 이 時點에서 nylon의 發見, 開發의 속이야기를 考證을 찾아 보면서 一觀하는 것은 여러 角度에서 의미있는 일이라고 생각된다. 많은 내용이 현재 우리나라의 新製品 開發전쟁의 一線에서 뛰고 있는 우리 일꾼들에게, 관리經營자들에게, 또 大學에서 공부하는 동료 및 학생들에게 참고가 될 만하다.

本稿는 주로 California<sup>1</sup> State Univ. Fresno의 G. B. Kauffman<sup>3</sup> 이 집필한 것과, 많은 資料를 소장하고 있는 Wilmington, Delaware의 Hagley Museum and Library의 J. K. Smith와 D. A. Houndshell<sup>3</sup>이 집필한 것을 주로 引用하여 준비했다. 後者의 것이 考證이 잘 되어 있어 더 참고하였다. 문헌에 引用한 Du Pont研究所의 當時의 記錄, 文書들은 筆者가 직접 본 것이 아니며 위 문헌에서 인용한 것이다.

## 50th Anniversary of Nylon Development: Its Process and Significance

한국과학기술원 화학과(Iwhan Cho, Dept. of Chemistry, Korea Advanced Institute of Science and Technology, P. O. Box 150, Cheongryang, Seoul 130-650, Korea).

## Nylon 개발의 배경과 여건

1920年代의 美國의 경제는 어떻게 보면 오늘날의 韓國과 비슷한 것 같다. 世界一次大戰(1914-1918)이 끝났을 때 經濟적으로, 工業적으로 세계를 주름잡던 유럽은 꺾밭이 되어 버렸다. 美國은 승전국으로 하찮은 것이었으나 工場들이 있었고 값싼 勞動力이 있었다. 戰爭前에는 40億불의 債務國이었으나 債權國으로 탈바꿈하여 100億불 씩이나 유럽에 투자하고 있었다. 1928년에 美國의 자동차생산은 전세계의 5분의 4를 점하고 있을 정도였다. 흥청망청 소비는 늘었고 大好況이었다. 工業적으로 發見이다, 發明이다 해서 新製品들이 쏟아져 나왔고 경제가 급속도로 팽창하였다. 이것이 소위 미국사람들이 말하는 “rolling twenties(광란의 20年代)”인 것이다. 그러나 企業家들은 不安했다. 이러한 경제적 好況이 튼튼한 경제적, 과학기술적 基礎위에 이룩된 것이 아니었기 때문이다. 大經濟恐慌이 오고 있는 것을 느끼고 있었던 것이다. 곧 31代 大統領으로 선출될 위대한 기술자인 H. Hoover는 외쳤다.<sup>4</sup> “현재 우리들의 공업기술은 급속히 그 源泉 지식을 소모하고 있으며 곧 동이 날 것이다. 기초과학적 연구를 통하여 원천이 될 수 있는 정보의 생산이 필요하다”. 이 때가 1926年이다. 당시만 해도 미국의 工業界는 “純粹(pure)”와 “應用(applied)연구”에 관한 개념도 定立되어 있지 않았고 독일의 공업연구실에 비하면 많이 뒤떨어져 있었다.

美國의 화학공업계에서도 새 바람이 일기 시작했다. Du Pont社는 새로 Charles M. A. Steine을 中央化學部(Central Chemical Department)의 部長으로 선임하고 무엇인가 새 돌파구를 찾도록 하였다. 1926年말頃 그는 會社重役會(Executive Committee)에 그의 생각에 “충분히 급진적(sufficiently radical)”이라고 생각되는 건의서를 제출했다.<sup>5</sup> 이 건의서에서 그는 “새로운 기초 화학적 정보를 창출해내기 위해서 연구를 시작하는데 필요한 200,000弗의 예산을 요구했던 것이다. 그

는 설명하기를, 이러한 연구는 독일의 공업계에서는 오래전부터 해왔던 것이며, 현재 응용연구의 원천지식은 바닥이 났다고 했다.

왜 Du Pont社가 이러한 새로운 일(쓸데없는 일?)에 돈을 써야 되느냐 하는데 대한 구체적 理由로서 Steine은 네가지를 지적하고 있는데, 興味도 있지만 현재 우리나라 企業體들의 立場을 돌아 볼때 너무도 비슷한 면이 있어 禁笑케 한다. 그는 理由로서 첫째로 순수연구를 해서 좋은 論文을 발표함으로써 얻어지는 科學的名聲(scientific prestige)과 廣告效果(advertising value)를 들었고, 둘째로는 재미있는 연구를 함으로써 연구원들의 사기를 돋우고 좋은 연구원들을 유치하기 쉬워지며, 세번째로는 발생하는 과학적 정보는 다른 연구기관에서 생산되는 정보와 交換될 수 있고, 마지막으로 그는 이러한 기초연구는 실제적인 응용연구를 유발할 수도 있을 것이며 궁극적으로는 새로운 기술로 이어 질 수도 있을 것이라고 했다. Steine 自身은 마지막 理由가 가장 중요하고 또 틀림없다고 믿고 있었지만, 처음의 세가지 理由가 重役들에게는 더 먹혀 들어갈 것이라고 생각했다고 傳한다. 당연하지 않은가? 于先 당면한 문제의 해결과 눈에 보이는 利益에 연한 重役들에게 長期的 기초연구가 받아들여 질리가 없을 것이다. 우선 좋은 사람을 어떻게 하면 데려올 수 있느냐? 어떻게 하면 他會社, 他研究所가 가지고 있는 정보를 빼내 올 수 있느냐? 하는 것들이 눈에 띈다. 그러나 이러한 순수연구를 미끼로 저 偉大한 Carothers를 Harvard大學 化學科의 교수직에서 빼내올 수 있었고 單 7年만에 nylon을 發見하게 될 줄이야 꿈엔들 생각했었는가?

그러나 Steine의 이러한 건의에 重役들은 설득되지 않았고 좀 더 설명을 요구했다. 3개월 후 Steine은 다시 더 詳細한 건의서<sup>6</sup>를 제출했는데 이때 그는 “pure(純粹)”라는 말을 “fundamental(基盤)”로 고쳤다(筆者註: basic을 基礎로 번역했다). 이 새로운 건의서에서의 基盤연구는 순수

연구와는 다른 개념으로서, 基盤연구에서는 主로 會社가 소유하고 있는 기술들의 저변에 깔려 있는 基盤科學을 파고 든다는 것이며 다른 말로는 先導的 應用연구(pioneering applied research)라고 부를 수도 있다고 Steine은 설명했다. 그는 또한 이런 연구는 결과적으로 큰 가치가 있는 것을 찾아낼 수도 있겠고, 잘못되어 “無”로 끝날 수도 있겠으나, Du Pont로서는 그 기술발전에 必要 不可缺의 것이라고 주장했다. 처음에 重役들은 이것은 또 무슨 소리인가 했지만 그 前에 有機化學部에서 合成 고무 개발에 실패한 것은 基반지식이 결여되어 있었기 때문이라는 설명에는 동의하는 것같이 보였다.

Steine은 Du Pont社의 基盤연구에서는 콜로이드化學, 촉매, 물리 및 化學적 data의 생산, 유기 합성, 重合 등을 강조할 것이라고 했는데, 이때만 해도 콜로이드化學은 완전히 未開拓地였다. 따라서 散彈戰略(shot-gun method)을 導入해서 攻略하여 응용가치가 있는 결과를 끌어낼 것이며, 촉매는 當時의 化學발전에 있어 가장 중요한 분야인데 실제로 그 作用메카니즘에 대해서는 모르고 있으므로 이 분야를 연구하여 어떤 process에 대해 제일 효과가 좋은 촉매를 찾아낼 수 있도록 할 것이라고 강조했다. 이러한 Steine의 주장은 事實 60년이 지난 오늘날에도 그냥 그대로 통할 수 있는 이야기다. 그는 데이터 수집에 관해서도 비슷한 것을 강조했고, 특히 重合에 대해서는 그때까지는 단순히 경험만 가지고 했던 것을 이제는 그 基礎를 찾아서 根本적으로 方法을 이해하고 발전시킴으로써 새로운 重合체를 만들 수 있을 것이며 Du Pont社는 크게 得을 볼 수 있을 것이라고 주장했다. 이 때에 實은 高分子物質이 어떤 結合(bonding)으로 이루어져 있는냐 하는 것도 알려져 있지 않았고 高分子化學은 完全히 未知의 世界였는데, Steine이 이와 같은 생각을 했던 것을 보면 그는 어느 면에서 無謀한 點도 없지 않은 것 같다. 그러나 지금 1989년에 생각해 보면 그의 發想과 着想은 可히 天才의인 데가

있다. 뒤에 많이 더 기술하겠지만 Steine은 이렇게 idea를 냈고, 사람들을 끌어 들였고, 일을 시켰고 그 結果를 分別判斷해서 評價했고 商業化까지 밀고 가서 결국은 本人이 副社長까지 승진해서 뉴욕市에서 記者들 앞에서 nylon製品의 市販을 선언하게 된다. 그는 異意없이 立志傳에 나올 만한 人物이다. 과연 우리나라의 기업에 이러한 人物이 몇이나 존재할까 생각해 본다. 한 기업은 이러한 일꾼들에 의해서 성공하는 것이며 기술이 발전하고 빛이 나게 되는 것이다.

重役會는 드디어 1927년 4월6일자로 Steine의 건의안을 채택하고 5~6개 연구분야에 대한 연 250,000弗의 예산을 승인하였다. 막상 이렇게 되자 Steine은 이 연구팀이 특별히 注目을 끄는 것을 피하고 싶었다. 그러나 새 건물은 하나 필요했다. 새 건물이 지어졌을 때 이 건물에 금방“Purity Hall(純正館)”이라는 별명이 붙었다.

일을 始作하면서 우선 좋은 사람을 끌어 들이는 것이 큰 문제였다. 적어도 各 分野에 한 사람씩 5~6명의 最上級 頭腦가 필요한 것은 말할 것도 없었다. 여기서 Steine이 얼마나 당돌한 人物인가 하는 것이 엿보인다. 돈은 얼마든지 줄 것이고 우선 美國化學계의 큰칼들을 불러 보리라고 작정했다. 유기화학분야를 끌고 나갈 사람으로 먼저 저 유명한 Illinois 대학의 전설적인 Roger Adams와 Ohio State의 Henry Gilman과 접촉했다.<sup>7</sup> 이들은 미국화학계의 代父들로서 이미 유명한 사람들이었다. 두사람이 한 마디로 거절했음은 물론이다. 다음으로 젊은 사람들을 대상으로 삼았다. 즉 젊어서 아직 기반은 덜 잡았으나 장래가 촉망되는 젊은 교수들이다. Harvard의 L. F. Fieser와 Illinois의 R. C. Fuson이 그들중에 끼어 있었는데 이 두사람도 편지 왕래 끝에 거절했고, 두 사람이 관심을 표시했는데 그 하나는 Wisconsin의 E. O. Kraemer이고 또 한 사람이 바로 Harvard의 유기화학 강사인 Wallace H. Carothers였다. Carothers는 이때 31세였고 Harvard에 부임한지 1년밖에 안되는 풋내기였다.

美國 대학의 교수생활에서 부임 1~2년은 참으로 어려운 시기로 알려져 있는데 소위 “fight for survival(生存에의 싸움)”의 시기인 것이다. 연구비는 없고, 학생도 없으나 연구결과를 얻어 좋은 論文을 써야 되고, 흔히 하는 말로 맨발로 밤새우고 뛰는 시기이다. 현재 Harvard 化學科는 탈락율이 100%라고 알려져 있지만 그 때에도 탈락율은 높았을 것이며 따라서 이 시기가 移職의 가능성이 가장 큰 것이다.

### Carothers의 轉職

Wallace Hume Carothers는 1896년 4월 27일에 Iowa주의 Burlington에서 태어났다. 고등학교 때부터 化學을 좋아했지만 글을 잘 써 筆才가 있었다고 傳하는데 이 점은 後에 그의 많은 論文들에서 엿볼 수 있다. 그는 大學은 비교적 작은 곳을 다녔으나 大學院 과정부터 본격적인 化學修業을 시작했고 有機化學에 심취되기 시작한 것으로 생각된다. Illinois大學 化學科에서의 그의 碩士 및 博士과정 修業에 있어서 Roger Adams를 指導教授로 모실 수 있었던 것은 그에게는 宿命적인 것이었는 지도 모른다. 당시 Illinois대학 화학과는 미국 유기화학의 Mecca였었고, Adams는 공헌하는 유기화학자였고 좋은 스승이었다. 1924년에 “白金 촉매를 이용한 유기화합물의 수소화 반응”으로 박사학위를 취득했는데 당시 교수들은 Illinois에서 길러 낸 박사들 중 가장 출중한 사람중의 하나라고 평했다. 일도 열심히 했지만 성적도 좋았다고 전한다.

興味있는 것은 大學院 修業中 2년 동안 South Dakota 대학에서 교편을 잡은 일이 있는데 그때 동료 교수는 “Carothers는 좋은 강의를 하지는 못했지만 많은 시간을 실험실에서 보냈다”라고 말했다. 그는 寡黙했으며 늘 생각하고 일만 하는 사람이었다. 그가 가르치는 일에 그렇게 興味를 느끼지 못했던 것이 後에 그를 대학에서 企業體 연구실로 옮기게 했는지는 몰라도, 事實 가

르치는 일과 創造적이고 생산적으로 일을 하는 것은 別個의 것인 모양이어서 많은 有名한 學者들이 가르치는 데는 別로 관심이 없었다는 것을 생각하면 우연한 일만 같지는 않다.

박사학위를 취득한 後 2년 쯤 더 Illinois에 남아서 일을 한 다음 1926년에 Harvard大學 화학과의 강사로 부임하게 되는데, DuPont의 Steine部長이 Carothers와 접촉을 시작한 것은 그 다음 해 여름쯤이었다. Steine의 첫번째 公式 offer는 記錄에는 1927년 9월 20日字 편지의 형식으로 되어 있다.<sup>9</sup> 이에 대해 Carothers의 답장은 9월 23日字로 되어 있는데, 이 편지는 거절하는 내용으로서 別로 생각해 보지도 않고 쓴 것으로 생각된다. 다음 offer는 9월 26일로 되어 있고 답장은 10월 9일이었는데 이 때도 역시 거절이었다. 記錄에는 이 기간 중, 9월 말에 일차 Du Pont 연구실을 방문했던 것으로 되어 있는데 이때 Steine과 Carothers사이에는 重合에 관한 이야기가 많이 오가고 있었던 모양이다. 後에 Steine은 기록하기를 Carothers가 重合에 관해서 상당한 관심을 보였기 때문에 그를 꼭 유치해야 되겠다고 마음 먹었다고 한다.

Steine의 설득은 끈질겼다. 그는 基礎연구라는 것은 純粹연구와 다른 것이 없다고 강조했고, Carothers가 그때 Harvard에서 하고 있던 일을 계속할 수 있으며 그가 하고 싶은 어떠한 일도 할 수 있다고 했다. 또 그의 연구팀을 그의 能力에 따라 키워서 여러가지 일을 할 수 있을 것이라고 다짐했다. 이러한 꿈같은 설득에도 처음에는 거절이었으나, 얼마 지나 들면 Carothers의 마음이 흔들렸다. 무엇이 그의 心境의 變化를 가져오게 했는지에 대해서는 알려져 있지 않으나, 그는 Steine에게 長文의 편지를 썼고, 그의 身上에 관한 것, 財政문제, 직업문제 등을 물어 왔다. 于先 그는 가르치는 부담(teaching load)이 없어진다는 점은 좋다고 했고, Du Pont에서의 研究의 自律性에 대해서 걱정했으며, 얼마나 좋은 補助연구원을 거느릴 수 있는지도 물었다. 年俸에

대해서는, Harvard에서는 5,000弗을 받는데 비해 Du Pont은 32,000弗을 지불하겠다는데 대해서 만족한다고 했다. 記錄에 있는 事實은 Steine은 원래 그의 건의서에서<sup>6</sup> 책임연구원(group leaders)들은 上限線을 15,000弗로 計定해놓고 있었다. 따라서 Carothers와 흥정하는 과정에서 年俸을 대폭으로 올린 것은 뻔하다. 여기서 또한 지적해 줄 것은 Carothers는 그의 편지에서 自身の 정신 질환에 대해서 언급했다. Roger Adams의 기록에 의하면 Illinois대학 때도 그는 정신쇠약과 우울증에 걸려 있었던 모양인데 Harvard대학에 온 후 조금 심해져서 Illinois로 다시 불러 自己 밑에 두고 싶어했던 것으로 되어 있다.<sup>10</sup> Carothers는 Wilmington (Du Pont연구소가 있는 곳)에 다시 옮길 경우 이 질환이 더 악화될 것을 Steine에게 걱정했던 것이다.

이에 대해 Steine은 곧 그의 부하인 H. Bradshaw를 Harvard대학으로 보냈고, Bradshaw는 Carothers와 장시간에 걸쳐 환담했다. 그는 대화와 설득에 명수였던 모양인데, 後에 Carothers는 그가 一家나 親舊같이 느껴졌다고 말했을 정도다. 드디어 巨艦 Carothers는 합락되었다. 2日後 그는 Du Pont社에 join할 것을 결정하고 만다.

Harvard를 떠날 준비를 하고 있는 동안 Carothers는 Du Pont에서 할 일들에 대해서 깊이 생각하기 시작했고, 重合에 관해서도 具體적으로 생각하면서 실험들을 계획하기 시작했다. Bradshaw와의 편지에서 그는 重合體에 관한 기본적인 문제들에 대해서도 언급했는데, 즉 큰 分子들이 어떤 힘에 의해서 형성되고 있는지를 알아야 되겠다는 것이었다. 조그마한 分子들에서 작용하고 있는 結合이 그대로 작용하고 있는지, 또는 어떤 새로운 형태의 결합인지를 알고 싶다고 했다. 이즈음 1920년대의 저 著名한 "Staudinger와 Mark의 논쟁"은 한참이었다. 有機化學者인 Staudinger는 그저 보통 결합일 것이라는 주장이었고, 똑똑한 Mark는 새로운 會合說을 들고 나왔다. 물론 後에 Staudinger가 노벨화학상(1953년)을 수

상한다. 이때 Carothers는 이 문제를 완전히 해결하기 위해서 合成的인 측면에서 공격해 보자는 것이었다. 그는 잘 알려진 작은 分子들의 合成反應을 이용해서 큰 分子를 合成함으로써 그 구조에 대한 의심의 여지를 없애 버리고자 했다. 그는 쓰기를 "이런 생각은 좀 환상적이기는 하지만 E. Fischer가 80개의 炭素로 된 peptide를 합성한 것을 보면 그렇지 만도 않다"라고…….

### Du Pont에서의 Carothers의 연구

Carothers는 1928년 2월에 Wilmington으로 南遷했다. 그의 書信들로 보면 DuPont연구실에 대해서 꽤 만족하고 있었던 것으로 보인다. 그가 쓴 한 편지의 내용은 다음과 같다.

"……企業에 있어서의 노예생활의 일주일이 또 지났지만 내 자만에 찬 영혼은 생생하다. 이미 나는 별로 느끼지도 않으면서 여러가지 족쇄들에 적응해 가고 있다. 방직공장과 광산에서 일하는 어린 노동자들 같이 나는 이른 새벽에 일어나서 간단한 아침을 들고 이 엄청난 소용돌이 속에 8時에 도착한다. Harvard에서는 이렇게 않았을 것이다. 나는 하루 종일생각하고 읽고, 담배 피우고 떠들면서 지내고 5時가 되면 퇴근하게 된다."

그는 또 다음과 같은 편지도 썼다.

"……연구비는 무진장이다. 나는 내가 원하는 대로 얼마든지 쓸수있다. 누구도 내가 어떻게 일을 하는 지, 앞으로의 계획이 무엇인지에 대해서 묻지 않으며 모든 일과 결정은 나에게 달려있다. 그래서 事實 Harvard를 떠난다는 것이 잘못된 것인가 하는 생각도 들었지만, 이 새 직장도 이 쪽에서 보니 저 쪽에서 보던 것 보다는 훨씬 만족스러운 것이다."

Carothers는 언뜻 느끼기에는 天才的 奇人 科學者 같이 느껴지는데 그렇지 만도 않았던 모양이다. Wilmington에서 그는 財政的으로도 여유가 생겼고 일도 그런대로 만족할 만 했기 때문에 취미생활도 하고 친구도 사귀고 했다. 그는 특히

음악을 좋아했는데, 다시 태어난다면 음악가가 될 것이라고 말했을 정도였다. 그는 특히 그의 여동생을 아꼈는데 이 여동생이 당시 라디오삼중창의 Clara-Lu-Em의 Lu였다. 나중에 이 여동생의 죽음이 그를 정신적으로 강타하게 된다.

Carothers는 긴사슬 分子의 비밀을 풀기 위한 작업을 순차적으로 진행해 나갔다. 먼저 잘 알려진 유기화학의 표준반응을 이용해서 그의 假說을 시험해 갔다. 첫번째로 그는 알코올과 카르복시산의 에스테르 形成반응을 잡았다. 지금 생각하면 너무나 당연한 것이지만 그때 생각으로는 기발한 着想이라고 여겨지는 idea, 즉 한 분자가 양쪽에 기능기를 갖는다면 계속해서 에스테르화

가 진행되어 큰 分子로 자랄 수 있을 것이라는 생각이었다 (그림 1).

이때 Du Pont사는 이미 폴리에스테르(筆者註 : alkyd resin이라고 생각됨)를 만들어 페인트配合에 쓰고 있었다. Carothers는 이 반응을 들어 알고 있었으므로 그가 허무맹랑한 일을 하고 있는 것은 아니라는 感은 잡고 있었을 것이고, 또 記錄에는 없지만 Steine이 말하는 基盤研究, 즉 會社에 있는 기술에 대한 基盤연구라는 概念(fundamental aspect of the technology available to the company)에 부합하는 것이기도 했을 것이다. 그는 分子量이 4,000정도되는 重合物까지 얻는데 成功했다.

이러한 실험과 기타 비슷한 실험들을 통해서 Carothers는 論理的으로 착실하게 “重合體라는 것은 그저 보통 分子들이 가지는 것과 같은 結合으로 이루어 지며 단지 分子量이 큰 것에 불과하다”는 것을 證明하기에 이르렀다. 後에 共同研究者인 Julian Hill에 의해서 이야기된 것이지만 “이 結果로서 큰 分子가 특별한 結合으로 되어 있느냐 아니냐 하는 論難은 여기서 종지부를 찍었다”라고 했다. Carothers는 이 일들을 *Chem. Review*, 8, 853(1931)에 정리하여 發表하였고, 실험의 詳細한 내용은 좀 일찍 *J. Am. Chem. Soc.*, 51, 2548 (1929)에 發表하였다.

事實 지금도 많은 有機化學을 공부하는 사람들이 天然이건 合成이건 간에 高分子物質을 다루기를 기피하는 경향이 있지만 1920年代에도 마찬가지여서 高分子化學은 영성하게 Schmierchemie (Grease Chemistry)라고 불렀고, 무엇인지 끈적이고 쓸모없는 物質을 다루는 分野로 생각하고 있었다. 이러한 分野에서 무엇인가를 보았고 과감하게 뛰어든 Steine과 Carothers는 어쩐지 神 들린 사람들 같은 생각마저 든다.

### 奇蹟의 날들

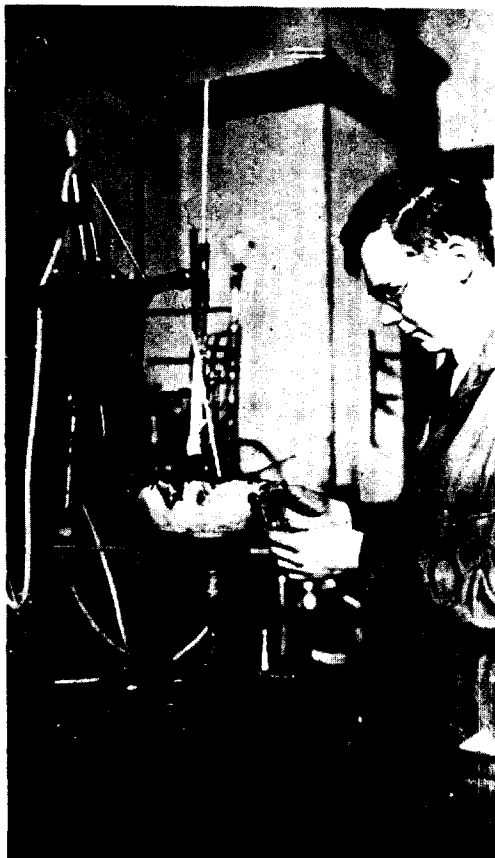


그림 1. 실험실에서 일하고 있는 Wallace H. Carothers 그의 구멍 난 실험복이 이채롭다.

Carothers가 Du Pont 연구실에서 일을 시작한

後의 몇 年은 기적을 남기 위해 礎石을 내리는 때였으며 정신없이 치닫는 해들이었다. Carothers는 두개의 group을 거느리고 있었던 것으로 믿어지는데 그 하나는 Julian Hill이 일하는 重合(縮重合이라고 해야 옳다) group이고 다른 하나는 Arnold M. Collins가 일하는 有機合成 group이었다.

有機合成 group에서 먼저 Neoprene을 發見하게 되는데, 이 때가 1930年 4月이었다. 그들은 DuPont의 染料部에서 처음 만들어 合成고무의 合成試圖에 사용했던 divinylacetylene(DVA)과 monovinylacetylene(MVA)을 넘겨 받아 그 化學을 검토하고 있었다. MVA에 HCl의 부가반응을 검토하고 있었는데, 그 생성물(chloroprene, 2-chloro-1,3-butadiene)을 정제하여 방치했을 때 自發적으로 重合이 진행되며 그때 얻어지는 흰 固體는 고무의 성질을 가지고 있다는 것을 발견했던 것이다. 이 결과는 즉시 다른 擔當部로 옮겨져 商



그림 2. Julian Hill이 수지로부터 실을 뽑아 보고 있다.

業化로 이어지지만 Carothers의 group는 계속 그 化學을 추구해서 23편의 論文을 발표한다. Carothers는 後에 이 일들에 대해서 量的으로는 풍성했지만 質적으로는 별 것이 아니었다고 自評했다.

한편 M.I.T Ph. D. 인 Hill은 계속해서 축합 重合반응을 추구해 나간다. 그들은 위에서도 언급했지만 먼저 폴리에스테르로부터 일을 시작했고 "Superpolymers"라는 표어를 내걸었다. 즉 아무도 본 적이 없는 아주 큰 分子量의 重合體를 만들겠다는 각오였다. 1929년 말경 그들은 分子量이 5,000~6,000 정도까지 도달하는 데는 우선 성공했으나 어쩐지 더 以上은 올리지 못하고 있었다. Carothers는 몇 가지 可能的 理由를 검토해 본 後 부산물로 생성되는 물이 主要原因이라고 결론지었다. 즉 생성되는 물이 폴리에스테르와 다시 가역적으로 반응하여 化學平衡을 이루어 重合體의 分子量이 더 커질 수 없다고 생각한 것이다. 지금 생각하면 당연한 이야기지만 그 때에는 매우 博識한 化學者다운 着想이었고 이점이 바로 그의 성공적인 축합중합에 관한 연구의 전환점이 되었다. 그들은 그즈음 처음 등장한 分子蒸溜裝置를 개조하여 이용하는데 비로서 물이 제대로

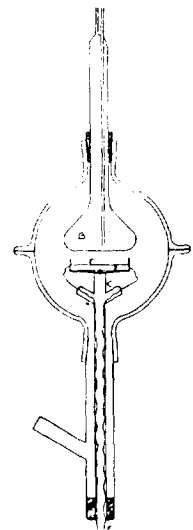


그림 3. 축중합에 사용된 분자증류장치

제거되면서 훨씬 큰 分子量, 즉 12,000이 넘는 分子量의 重合體를 얻게 된다. Hill은 분자중류장치로 부터 얻어지는 어떤 重合體들은 용융상태에서 실(fiber)로 뽑을 수 있음을 관찰할 수 있었고 이런 실들은 冷延伸도 가능했고 매우 질기다는 것도 알았다(그림 2, 3).

이 결과로 흥분된 그들은 몇 가지 重合體를 좀 많이 만들어 섬유로서 評價해 보도록 했다. 그러나 結果는 否定的이었다. 섬유로 이용하기에는 용점(100度以下)이 너무 낮다는 것이었다. Carothers는 다시 생각했다. 重合體의 용점을 높이기 위해서는 에스테르보다는 아미드가 좋을 것 같았다. 낮은 分子量의 化合物에서도 에스테르보다는 그에 대응하는 아미드는 항상 용점이 높기 때문이다. 수소결합같은 것은 그 때에는 생각지도 않았다. 1930年 한해동안 그들은 열심히 폴리아미드를 합성했는데, 그들은 이 重合體들을 제대로 다루는데 실패했다. 폴리에스테르에 비해서 폴리아미드는 可恐할 만한 것이었다. 그들은 이 폴리아미드들은 용점이 너무 높고, 용매에 녹지도 않으며, 점성도 매우 높아서 도저히 어떻게 다룰 수 없는 것들이라고 했다.<sup>12</sup> Carothers自身이 後에 이 같은 결정은 바보스런 것이었다고 기록하고 있지만 여기서 그들은 일단 폴리아미드에서 손을 떼고 迂廻해 갈 作定을 한다. 다음에 그들은 폴리아미드와 폴리에스테르의 混成共縮重合體를 끓이기 시작했는데 예상한 대로 용점은 낮아 졌고 다루기는 쉬웠으나 별로 쓸모없는 重合體들이었다.

이때 좀 해서 Steine은 진급했고 그 자리로 染料部에서 많은 경험을 쌓은 Elmer Keiser Bolten (1886-1968)이 부임해 와서 Carothers의 group의 연구를 관리하게 된다(1930년 6월). Bolten의 부임은 Carothers에게는 厄運이었지만 이 人事는 모르는 해도 Steine이나 기타 重役들의 당시의 基盤연구에 대한 느낌을 반영하고 있는 것으로 생각된다. Bolten도 Harvard에서 화학공부를 했고 독일에서도 연구한 경험이 있지만 그는 企業

에 있어서 이러한 연구의 필요성에 대해서는 회의적이었고 Steine의 초기의 基盤연구에 대한 發想에 대해서도 반대하는 立場을 취했었다.<sup>13</sup> 이런 그에게 칼자루를 쥐어준 것이다. 이러한 實利追求型의 人物을 이 자리에 登用한 배경에는 그 前年 1929년 10월에 경제공황이 밀어 닥쳐 왔으며 미국경제는 과탄을 향해 계속 치닫고 있었다는 점도 있다. 이러한 경제적 여건하에서 기초연구를 한다는 것은 문제가 있다는 생각이 重役들의 머리에는 팽배해 있었다. 여하튼 어떤 緣由로 Bolten이 部長職에 오게 되었는지는 알 수 없으나, 더 記述해 나가겠지만 그는 nylon개발을 끝까지 밀고 나가는데 결정적인 역할을 하게 된다.

Bolten은 會社의 이익을 위한 좀 더 생산적인 연구를 위해서 基盤연구를 직접 지휘, 관리하기를 원했다. 그는 Du Pont과 같은 個人企業體에서는 엘리트 化學者들의 순 이론적 연구는 해서는 안된다고 생각했고, 大學에서도 化學研究는 어떤 큰 應用을 指向하는 것이어야 한다고 굳게 믿고 있었다. Bolten은 이러한 그의 생각을 重役會議와 研究 group들에게 서서히 반영시키면서 고삐를 조여 갔다. 1932년에 들어서서는 미국의 경제도 형편없이 되었지만 연구 group들도 많이 응용연구쪽으로 기울어 졌고, 純正館(Purity Hall)의 엘리트 化學者들도 그 立場과 思考方式이 많이 달라져 있었다. 1932년도 보고에서 Bolten은 “우리의 개발연구의 대부분은, 특히 基盤 및 先導的 應用研究(fundamental and pioneering applied research : 筆者註: Du Pont 연구실은 이 pioneering이라는 말을 좋아한다)는 그의 目標設定에 있어 많이 改善(?)되었다. 이제 이 연구들은 궁극적인 目標인 會社의 이익을 위해서 좀 더 의미있는 일을 하게 되었다”라고 기술하고 있다. 이러한 變化들이 그냥 일어날 수 만은 없었다. Carothers는 마음이 불편해졌으며 이 새로운 변화에 대해서 불평을 늘어 놓기 시작했다.

Bolten과 Carothers의 충돌은 不可避한 것이었으며 Carothers가 合成섬유에 관한 論文을 한 編



發表하려고 하는 것을 Bolten의 補助였던 E. B. Benger가 저지함으로써 그 理念의 戰爭은 본격화하게 되었다. Benger 自身도 폴리에스테르로부터 실용성있는 실을 뽑는다는 것은 可能性이 없다는 것을 뻔히 알면서도 “이 결과를 성공적으로 이끌어 간다면 위대한 결과를 낼 수도 있으므로 이 分野에 있어서 우리의 立場을 견지해 가면서 일들을 잘 정리해서 앞으로 특허로 보호해야 한다”라고 주장했다. 舌戰은 계속되었고 Steine의 原來의 書類들도 들먹여졌다. 그러나 결국 一年後 그 論文은 發表되었고 特許로도 出願되었지만 별 것은 아니었다.<sup>14</sup>

축쇄는 죄어졌고 압력은 더 가해져 갔다. 1932년 여름, Bolten은 Carothers에게 그의 연구에 관한 5個年計劃書를 제출하라고 하면서 會社의 商業的 利得에 특히 主眼點을 둘 것을 요구했다. 또한 그는 “pay-your-way”라는 말을 썼는데 이는 적어도 연구비와 너희들의 莫大한 인건비는 벌어야 될 것이 아니냐라는 意味로 해석되지만, 너희들이 하는 연구는 앞으로 Du Pont 연구실에서는 할 수 없을 것이라는 말로도 들린다. Carothers는 그의 보고서에서 자기 group들의 몇 年間의 연구결과와 진행되고 있는 연구들을 review하면서, 처음 Steine이 자신을 유치할 때 말했던 기초연구의 개념을 생각해 보면 매우 生産的이었다고 기술하면서 直接的인 돈벌이를 하지는 않았지만 많은 可能性을 도출해냈고 또 앞으로도 그럴 것이라고 주장했다. 또한 “pay-your-way”라는 말은 이해할 수 없으면서 앞으로 우리의 연구노력이 제대로 결실을 맺는다면 投資에 비해서 몇 배의 이익을 가져올 수 있을 것인데 무슨 소리인지 이해할 수 없다고 했다. 그는 5個年計劃을 前과 같이 科學的인 결과를 얻는 것을 目標로 해서 세웠고, 결론적으로 그는 직접 돈벌이를 하는 일이라면 自身이나 그의 동료들이 Du Pont에 오지도 않았을 것이고, 또 그러한 일을 잘 할 수 있는 사람들은 따로 있으며, 그의 동료들은 우수하고 열심히 일하는 사람들이지만 그런 일에는 적합한

사람들이 아니라고 확인했다. 어떻게 보면 自棄的이고 비협조적인 내용으로 보이는데 자기방어의식이 발동하고 있음을 알 수 있다.

그러나 Carothers는 위대한 일꾼이었고 많은 vision도 가지고 있었다. 그는 기초연구로 직접 돈벌이를 할 수 있다고는 생각하지 않았지만 그런 연구를 진행시킴으로써 최근의 分析方法을 도입하고, 실험장비를 갖추어 새로운 idea의 신속한 評價에 임할 수 있고, 社內의 여러가지 기술적인 문제들을 풀어 가는데 큰 역할을 할 수 있다고 생각했다. 만약 會社의 사정이 허락하지 않는다면 그 규모를 축소할 수는 있어도 기초연구 group을 완전히 없애는 것은 있을 수 없는 일이라고도 했다. 이 때에도 Du Pont社는 여러가지 理由때문이었지만 여러 大學에 많은 연구비를 지원하고 있었는데 그 중 일부를 社內의 研究를 支援하는 限이 있더라도 기초연구 group은 유지해야 한다고 주장했다. 그러나 Bolten은 이런 Carothers의 意見들을 듣지 않았고, Carothers는 자기가 하고 싶은 일만 계속했다.<sup>15</sup>

여기서 Carothers의 일증에서 얻은 또다른 부산물 이야기를 하고자 한다. 폴리에스테르를 分子중류장치에서 끓일 때 중류되어 나오는 것은 폴만은 아니었다. 大環의 diester도 같이 중류되어 나왔던 것이다. Carothers는 선형 폴리에스테르에 촉매를 조금 넣고 가열하면서 중류하면 이러한 大環 락톤이 서서히 중류되어 나온다는 것을 관찰했는데 當時만 해도 이런 大環의 화학은 전혀 알려져 있지 않았다. 그저 合成이 굉장히 어려운 것으로 되어 있었다. Carothers는 8員環으로부터 20員環까지 系列로 여러가지 glycol과 diacid들을 써서 合成을 시도했다. 이 실험에서 그들은 奇數員의 環들이 특히 만들기 어려운 것을 알았고 이는 conformation의 문제라고 설명했다.<sup>16</sup> 특히 에틸렌 글리콜과 C<sub>9</sub>의 dicarboxylic acid로 되는 大環(13員)은 특히 흥미가 있었는데 이 락톤은 냄새가 좋아서 musk향과 비슷했다. Du Pont社는 이 락톤에 대해서 특허를 얻었으며

현재(1989년)에도 가장 대량으로 생산되는 합성 섬유로서 男性用 면도후 로손용으로 쓰인다.

일단 重合에서 손을 떼면서 Carothers는 점점 의기소침해졌고 Du Pont에서의 生活이 싫어지기 시작했다. 1933년에 들어서면서 그는 한 때이지만 Du Pont사를 떠날것을 생각하고, 당시 Harvard 대학의 총장이 된 James B. Conant와 母校의 恩師인 Adams에게 便紙를 띄운다.

“……요즈음 하고 있는 일들은 도무지 무엇인지 모르겠습니다. 理論的인 것도 아니고 그렇다고 실용적인 것도 아닙니다. 저는 이 사람들이 말하는 實利的인 일들에 대해서 自身이 없고 흥미도 없습니다. 그러나 이곳에서 지난 몇 년 동안 한 일들은 많은 理論的인 문제들을 파생했고 이런 문제들은 오랫동안 연구의 대상이 될 수 있습니다……”

事實 이때 Carothers는 이미 有名해져 있었고 美國化學界의 寵兒이었다. 그는 J. Am. Chem. Soc.의 associate editor였고, Org. Syntheses의 編輯人의 한 사람이었으며 많은 초청강연을 하고 다녔다. 조금 뒤의 일이지만 1936년에는 National Academy of Science의 會員으로 선출되기도 하는데 이는 企業體에서 일하는 사람에게는 처음있는 일이었다.

便紙를 쓴 지 열흘쯤 후에, Harvard와 Illinois에서 답장도 받기 前에 웬일 인지 Carothers는 마음을 바꾸고 Wilmington에 그대로 남아 있기로 결정한다. 이즈음 그는 얼마전에 집도 샀고, 不況으로 문제가 생긴 父母님들도 모시고 왔으므로 Wilmington에 늘어 놓은 일들이 막상 떠나려고 하니 무리라고 생각되었는지도 모른다. 역시 제일큰 이유는 재정적인 문제였을 것이다.

## Nylon의 탄생

Carothers가 macrocyclics에 손을 대고 또 마음이 흔들렸다가 좌절하는 것을 본 Bolten은 이 래서는 안되겠다고 생각했다. Bolten은 역시 합

成纖維에 관한 연구가 어느 것 보다도 장래성이 있고, 가장 크게 승부를 낼 수 있는 일이라고 단 정하고 Carothers에게 섬유에 관한 일을 계속할 것을 薦용한다. 이 때가 1933년 여름이다. Manager는 馬夫와 같은 것이어서 좋은 말과 좋은 馬夫가 짝이 되어야 좋은 결과를 내게 되는 모양이다.

한 풀 죽은 Carothers는 승복했고 다시 重合에 관한 연구에 복귀하면서 전에 피해갔던 폴리아미 드를 本格的으로 攻略할 것을 작정한다. 偉大한 Carothers가 作心하고 덤비는데 무엇이 문제겠는가? 그는 우선 aminononanoic acid ester( $C_9$ 의 아미노카르복시산의 에스테르)를 반응시켜 좋아 보이는 重合體를 얻었고 그럴 듯한 섬유를 얻는데 성공하고, 다음으로 diamine들과 dicarboxylic acid들을 반응시켜 여러가지 重合體를 얻는데 성공하게 된다.<sup>12,17</sup>

1935년 봄에 이르러서는 難攻不落의 폴리아미 드 重合體系도 완전히 함락되었다. 어느 것을 택 해서 scale-up, pilot plant 등으로 이어지도록 하느냐는 것을 결정하는 단계에 이르렀는데 Carothers는 5,10-nylon(筆者註: 첫 숫자는 diamine의 탄소수, 뒷 것은 diacid의 탄소數)을 택했다. 융점도 적당하고 섬유의 성질도 그런대로 좋았기 때문이다. Bolten의 생각은 달랐다. 당시에는  $C_{10}$ 화합물들은 피마자유로부터 얻을 수 있었지만 工業化하기에는 어쩐지 문제가 있을 것 같았다. 그는  $C_6$ 계가 눈에 익었고 nylon-6,6을 골랐던 것이다. 나중에 밝혀지지만 이러한 Bolten의 選擇眼은 아주 적절한 것이어서 nylon-6,6의 모노머들이 benzene이나 butadiene으로부터 대대적으로 값싸게 제조할 수 있게 된다.

Bolten은 nylon의 본격적인 개발에 着手하면서 많은 인력을 투입하기 시작했고 기반연구 group 들은 와해되기 시작했다. Nylon은 이제 실험실을 떠났으며 “새로운 기술의 개발”이라는 旗幟를 내 걸고 全 Du Pont社가 동원되기 시작했다.

이렇게 붓물 터지듯 확산되는 nylon개발의 熱氣를 옆에서 보면서 Carothers는 이제 Du Pont에

있어서의 기초연구는 끝났다고 느꼈다. 그는 疾患에 다시 시달리기 시작했다. Chicago대학 화학과의 主任教授자리도 마다고 했고, 병원에 자주 드나들게 되었다. 1934년말 부터 점차 더 악화되기 시작했는데, 그 후 약 2년간 일도 제대로 못할 정도였다. 1936년 여름 그는 쓰러지고 마는데 도저히 회복이 어려웠다. 그는 또한 그의 사랑하는 여동생의 갑작스런 죽음에 더욱 충격을 받고 드디어는 1937년 4월29일, 그러니까 nylon의 主特許가 제출된 3週後, 그의 나이 41세 生日 2일 後에 Philadelphia의 한 호텔 방에서 시안을 마시고 自殺하고 만다. 그를 가장 괴롭혔던 것은 “그가 한 科學者로서 失敗였다”는 것이었다. 이 얼마나 왜곡된 運命의 장난인가? 이 젊고 큰 化學의 별이 人類發達史의 革命에 불만 붙여 놓고 그 모든 榮光을 다른 사람들에게 돌리고 홀연히 사라졌다. 무슨 말을 더 할 수 있겠는가? 그의 Du Pont生活은 9年間이었고 실제로 일한 기간은 7년에 불과하다. 이 7年 동안에 그는 그 많은 일을 해냈던 것이다. 偉大한 業績은 時間과 page數의 함수가 아닌 모양이다.

### Du Pont의 Nylon개발 추진

Nylon의 工業化가 본격화 되면서 Bolten은 人力이 더 필요하게 되었다. 그는 기초연구 group들의 人員을 차출하기 시작했고 전통적인 Du Pont의 개발사업의 형태를 점차 따르게 되었다. Bolten은 이제 제 물을 만난 것이다. Du Pont은 당분간 기초연구를 위해서는 새로 사람을 채용하지도 않았다. 이제 연구원들도 어떤 특정한 연구에 붙들어 놓지도 않았고 하고 싶은 일을 하게 하면서, 필요할 때는 動員해서 쓰는 형식으로 바뀌었다. Bolten은 소위 연구 system의 “민주화(democratization)” 라고 하면서 이러한 관리를 했는데 역시 nylon에 매달린 그는 필요할 때 늘 使用할 수 있는 人力 pool을 가졌다는 意味도 있다고 봐야 한다. 후에 밝혀지지만 이 연구실, 즉 Central Research

Laboratory는 지속적으로 생산적인 활동을 하고 있었다. 이 연구실은 nylon이 한참 工業化되고, 量産化되는 동안 다른 합성섬유인 폴리에스테르, 아크릴 등을 發見했고 기타 여러 종류의 플라스틱도 개발하게 된다.

筆者가 1968년 그러니까 nylon개발 30年 後에 Du Pont의 CRD(이때는 Central Research Dept.로 독립해 있었다)에 interview 갔을 때, Wilmington의 연구소들은 Experimental Station이라고 계속 부르고 있었고 섬유연구소는 Carothers' Lab.이라고 별칭하고 있었다. CRD는 독립된 빌딩에 약 백명의 연구원이 자유롭게 기초연구를 하고 있었는데 말로는 應用이라고 하면서 실제로는 매우 기초적인 화학을 하고 있었다.

1936年頃 Bolten이 nylon의 개발에 拍車를 가하고 있을 때만 해도 문제는 산적해 있었다. 폴리아미드의 용융물로부터 가는 실을 뽑는 技術은 그 때는 아무도 모르는 것이었다. 제일 먼저 문제가 된 것은 特級の stainless로 만든 spinneret의 제조였다. 다행히도 그 몇 年前 우연히 이러한 spinneret가 다른 目的으로 제작된 적이 있었기 때문에 可能해졌는데 萬分의 1인치의 구멍을 정확하게 뚫는다는 것은 극히 어려운 일이었다.

Du Pont이 nylon을 개발하는데 있어서 무척이나 다행스러웠던 것은 Du Pont이 오래 전부터 rayon사업을 해오고 있었다는 것이었다. Rayon 섬유는 물론 용액방사에 의해서 만들어지지만, 그래도 이 기술을 통해서 Du Pont 사람들은 실을 뽑고, 감고, 처리한다는 데 대한 感은 잡고 있었다. Nylon의 製絲과정에서 특히 문제가 되었던 것은 靜電氣의 발생이었는데, 이의 해결을 위해 적당한 sizing劑의 개발이 필요했다. 적절한 sizing은 실을 뽑고 감는 과정 뿐만 아니라 편물을 짜는 과정에서도 실이 얽히지 않게 하는데 절대 필요한 것이다. 재래의 sizing劑는 새로운 疎水性 섬유인 nylon에는 쓸모가 없었다. 연구원들이 동원되어 불철주야 노력했고 그들의 머리에는 흰머리칼이 늘었다. 一說에는 工場이 가동되기 1개월

전에야 겨우 쓸만한 sizing劑가 개발되었다고 한다.<sup>18</sup>

이러한 nylon개발의 뒷쪽에 숨겨져 있는 이야기는 많다. 특히 女子用 양말을 짜는 과정에서도 문제는 많았다. 그러나 지면상 생략하기로 한다.

1936年頃에는, Boltan이 nylon-6,6을 찍었지만, hexamethylenediamine(HMDA)과 adipic acid(ADA)는 역시 실험실의 試藥에 지나지 않았다. 當時 世界の 어느 회사도 이 두 藥品을 대량 생산한다는 것은 있을 수도 없었고 생각지도 않았다. Du Pont은 HMDA와 ADA의 제법 개발에도 박차를 가해서 1936년 중에 암모니아부의 Roger Williams가 phenol로 부터 ADA를 만드는 方法을 개발했고 비슷한 시기에 ADA로부터 HMDA를 만드는 方法도 完成한다. 곧 DuPont은 West Virginia의 Belle에 있는 工場에서 이 두 모노머의 大量 생산에 들어간다. Nylon-6,6의 pilot plant는 1938년7월에 Wilmington에 완공되고 처음으로 칫솔用 bristle을 생산하여 Exton이란 商品名으로 Dr. West 칫솔會社에 공급하게 되는데, 50년이 지난 지금도 계속 공급되고 있다고 전한다.

1938년 10월 곧 열릴 世界博覽會에 앞서 N. Y. Herald Tribune紙가 개최한 “천안 문제에 관한 토론회 제8차 회의”에서 Du Pont의 副社長인 Steine은 드디어 nylon 개발에 대한 폭탄 선언을 하게 된다.

“……나는 오늘 전혀 새로운 화학섬유의 출현을 선언합니다. 이 최초의 人造섬유는 鑛物質로부터 만들어졌으며 nylon이라 함은 화학적으로 단백질 구조를 가진 폴리아미드로서 섬유를 만들 수 있는 물질에 대한 一般的 通稱(generic name)입니다. 이 물질은 石炭, 空氣, 물과 기타 물질에서 만들어지며 아주 질기고 강하며 섬유뿐 아니라 bristle이나 板, 필름의 형태로도 성형할 수 있습니다.”

“……石炭, 空氣, 물과 같은 것에서 오로지 合成的으로 제조되는 것입니다만 철사와 같이 강하고 거미줄과 같이 가늘게 만들 수 있습니다. Nylon

은 천연섬유보다 질기고 탄력성이 좋으며 아름다운 光澤을 가지고 있습니다. 이때까지 알려진 어떤 섬유와도 근본적으로 다른 섬유입니다.”

이렇게 豪言하면서 技術史의 한 章을 연 Steine은 아마도 낱아 공들여 기른 그의 아들이 世界를 制霸하는 기분이 들었을 것이다.

## Nylon의 상업화

Nylon의 개발은 그렇게 값싼 것은 아니었다. Du Pont社는 1939년 1월, Delaware주의 Seaford에 300萬파운드짜리 工場의 건설까지 11년에 걸쳐 2,700萬弗을 투입했다. 이 工場은 試運轉 전에 이미 400萬으로, 本格的으로 준공되어 가동되었을 때는 800萬파운드의 규모로 확장된다. 하지만 오늘날의 規模로 보면 하찮은 것이었다.

Du Pont은 nylon의 첫번째 商品으로 물론 칫솔을 소규모로 생산했지만 더 연구하고 조사해본 끝에 女子用 양말(stockings)을 택했다. 女子用 양말은 여러面에서 “바람잡이” 商品이었다. 첫째로 양말은 가는 실로 짠 얼마 안되는 무게로 된 제품이며 무게로 파는 물건이 아니고 갓수, 즉 부피로 파는 물건이라는 點이다. 그럼當의 부가가치를 가장 많이 높일 수 있는 製品인 것이다. 바람잡이 장사라는 것은 무게로 사서 바람을 넣어 가공하여 부피로 판다는 것을 말하는데 바로 이 개념이 도입된 것이다. 몇 천톤 정도의 중합체를 생산하여 매상액을 올리려면 이런 방법 밖에는 없었을 것이다. 두번째로 當時 silk로 만들어 지던 양말은 비싸고 약했다. 따라서 nylon은 질기면서 감촉도 좋았으므로 더없이 좋은 재료였고 이것이 아니면 안된다는 絶對性的의 產品이었다. 세째로 當時 silk는 전량 일본으로부터 수입하고 있었다는 점이다. 1930年代말, 對日關係는 점차 나빠지고 있어서 어떻게 하면 silk代用品을 찾느냐 하는 분위기였다. 이러한 點들이 Du Pont의 경영진으로 하여금 女子用 양말을 그 첫 본격적인 nylon商品으로 등장시키게 했다.

“Nylon”이라는 이름이 어떻게 지어졌느냐 하는데 대해서 많은 이야기들이 있지만, 당시 DuPont에는 作名委員會까지 있었고 社員들에게 널리 公募까지 했었다. 결국은 女子用 nylon양말의 특징, 즉 “잘 나가지 않는다.” 영어로는 no-run이 그 기초가 되었고, norun은 nulon으로, newlon으로, nilon으로 둔갑하여 마지막으로 nylon으로 정착하게 되었다. 이 商品名은 다른 어느 것보다 비슷하지 않았고 發聲學上으로도 좋았으며 신비스런 感을 주기도 했다. Nylon이라는 이름에 대해서 많은 이야기가 있지만 당시의 분위기를 반영하는 유명한 것으로는 nylon이 “Now You Lousy Old Nipponese”라는 것의 머릿字를 따서 지었다는 이야기다.

Steine이 선언한대로 1939년 2월 San Francisco에서 열린 Golden Gate International Exposition에서 女子用 양말이 展示되었고, 于先 Du Pont社員들에게 먼저 팔아 사기도 올리면서 그 첫번째 實用評價를 받도록 했다. 4월에 들어서서 다시

世界博覽會에 전시되었고, 그해 10월에 처음으로 Wilmington의 住民들에게 처음으로 市販하게 되었다. 우스운 일은 이때 양말을 사기 위해 Wilmington의 호텔에 머물면서 假住民등록을 하는 부인들도 있었다니 말이다.

이렇게 조심성 있는 市販戰略을 펴나가면서 Du Pont은 이 商品이 대히트를 칠 것을 確信하게 되었고, 한편으로는 物量을 確保해 나갔다. 매스컴과 市民들은 소문만 무성한 이 商品에 대해서 들뜨게 되었고 초조하게 그 市販을 기다렸다. 1940년 5월15일 드디어 Du Pont은 全美國에 本格的 市販을 시작했다. 百貨店마다 장사진을 쳤고 아우성이었다. New York市에서만 400萬 켈레의 양말이 단 2~3시간만에 팔려 나갔다. 한 켈레의 양말 값은 1.25弗정도였다(그림 4).

양말 한 켈레의 무게가 약 10gr정도이므로 한 파운드의 nylon으로 부터 약 50켈레의 양말을 만들 수 있고 100萬파운드라면 5,000萬 켈레를 만들 수 있을 것이다. 당시 Du Pont의 연간 생산량

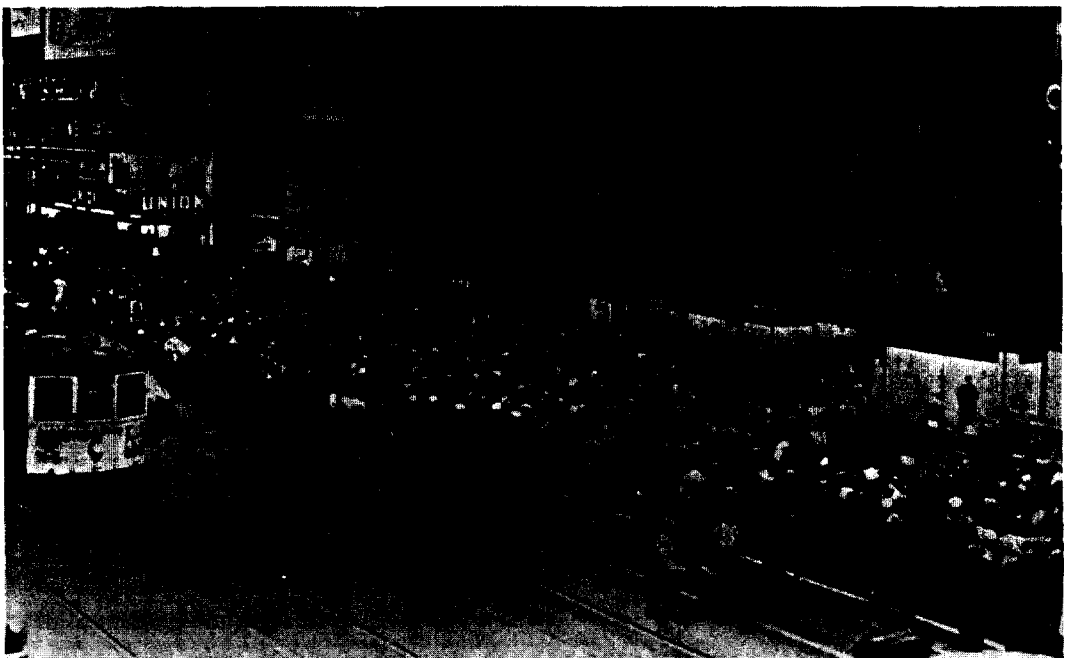


그림 4. 1945년 San Francisco에서의 nylon 양말 판매 광경인데 10,000명이 모였다.

이 80萬파운드라고 보면 4億 켈레의 양말을 만들 수 있을 것이고 이는 賣上高 4 億弗을 의미하는 것이다. 다시 말하면 nylon의 순 개발비를 1년에 뽑는 것은 물론이고 莫大한 利益까지도 얻었다는 이야기가 된다. 이 계산이 모든 것을 생략한 거친 것이지만 nylon 양말이 얼마나 成功的인 장사였으며 Du Pont이 얼마나 훌륭한 투자를 했는가를 엿보는데는 충분하다. Du Pont은 지난 50年間 nylon만으로 약 200億弗의 純利益을 본 것으로 전한다.

이렇게 해서 Steine-Carothers-Bolten의 大進軍은 위대한 승리를 거두게 된다.

Nylon의 더 가속적인 발전은, nylon만 아니고 高分子科學 전반에 걸쳐 마찬가지로, 二次世界大戰을 시발로 해서 진행되는데 1942년 2월 美國 戰爭生産省(U. S. War Production Board)은 nylon의 市販을 중지시키고 오직 戰爭物資로만 쓰일 수 있음을 公布한다. 美國防省은 방대한 예산으로 Du Pont의 개발팀들을 支援하면서 새로운 戰略製品的 생산을 서두르게 된다. 따라서 nylon은 낙하산, 방탄조끼, 군함용 밧줄, tire cords, 등 다양한 제품으로 발전하게 된다. 戰爭이 절대로 일어나서는 안될 일이지만 반면에 科學技術發展을 촉진시킨다는 점은 人類史의 惡然이라 할 수 있겠는데, 여하튼 二次大戰은 高分子科學發展에 큰 계기가 되었다. Silicones와 같은 것들은 二次大戰이 아니었으면 오늘날에도 우리 주위에서 볼 수 없었을런지도 모른다.

Nylon 양말이 다시 시장에 출현한 것은 1945년 전쟁이 끝난 훨씬 후의 일이고, 市場에 충분히 공급할 수 있게 된 것은 몇년 後의 일이다. 또다른 한편, nylon의 새로운 應用分野가 열려가고 있었다. 戰略物資의 개발은 nylon의 새로운 용도를 제시해 주었는데 플라스틱으로 기계부품(베어링, 기아 등), 낚시줄, 자동차부품, 비행기부품 등 여러가지 용도에 이용되게 되었다.

이제 nylon이라는 單語가 폴리아미드로부터 제조되는 섬유에 붙이는 Du Pont의 상품명이라는

固有名詞에서 普通名詞로 전용되어 쓰이게 되었고, 무엇인가 人造의이고 회한한 것을 일컫는 말로 쓰이게 되었다. Nylon은 1940~1950年代를 풍미하던 새로운 科學技術의 바람을 일으켰던 것이다.

Du Pont이 nylon-6,6의 기술에 집착, 고집하고 계속 獨占했으므로 그 技術의 移轉, 波及은 意外로 늦었다. 그러나 Du Pont의 慾心과는 曄曄으로 영똥하게도 유럽의 二次大戰의 폐허에서 nylon-6이 개발된다. 이는 카프로락탐을 重合해서 만드는 것인데 性質에 있어서 nylon-6,6보다 조금 떨어져진다고는 하나, 衣類用이나 기타 많은 용도에서 별로 지장없이 사용될 수 있다. 또, 한가지 모노머만이 필요하다는 長點도 있어서 世界的으로 現在 생산되고 있는 nylon의 대부분은 nylon-6,6이 아니고 nylon-6이다. 韓國도 마찬가지다. 카프로락탐과 nylon-6에 관한 이야기는 다른 機會로 미루기로 한다.

## 맺 음 말

Nylon개발 50주년을 맞이하여 그 개발과정을 뒤져보면서 筆者는 많은 것을 느꼈다. Du Pont이라는 個人企業이 어떻게 經濟恐慌에 대처해 나갔으며, Carothers는 어떻게 연구를 진행시켰고, Bolten은 어떻게 연구를 관리했고 그 결과를 商業化까지 밀고 갔는가를 보면 科學發達史의 찬란한 한 장을 그린 映畫를 보는 것 같다. Steine이 아니었으면 기초연구 group이 생기지도 않았을 것이고, Carothers를 유치할 수도 없었을 것이다. 더우기 Carothers가 아니었다면 nylon이 Du Pont에서 發見되지도 않았을 것이며, Bolten과 같은 관리자가 있었기에 이 발견은 成功的으로 工業化되었다. Carothers와 Bolten사이에는 葛藤과 충돌은 있었다. 흔히 있는 理想主義者和 實用主義者의 사이에 있는 갈등인데, 두 다른 觀點이 相補的으로 잘 작용하여 위대한 작품이 탄생되었다.

지금도 美國의 企業研究所에서는 기초나 응용

이나 하는 문제를 놓고 논란이 많다. Du Pont이나 기타 많은 企業이 기초연구로서 짝잡한 재미를 보았으면서도 이런 논란은 계속되고 있다. 요즘 尖端産業은 모두가 尖端科學과 직결되어 있다. 실험실에서의 결과가 工業화되는데 필요한 기간이 이제는 2~3년이면 충분하다고 한다. 어느 것이 실험실이고 어느 것이 生産工場인지 분별하기 어려운 업종도 많다. 기초연구는 해야 하느냐 하는 문제는 이제는 전혀 다른 시각에서 봐야 한다. 필요한 것은 해야 하며 어떻게 관리하느냐의 문제이지 全廢라는 黑白論理는 있을 수 없다.

우리나라의 産業이 앞으로 좀더 튼튼한 “基盤” 위에 올라서기 위해서는 연구개발시스템을 정비하고 좀 더 장기적인 안목에서 투자해야 한다. 筆者는 어느 化學會社의 會長님에게 이렇게 말한 적이 있다.

“회장님께서 이 기업이 2代, 3代로 계속 번영하는 것을 원하신다면 연구사업에 투자하셔야 됩니다. 이것이 불황에 대비하는 방법이고 새로 발전하는 과학기술을 흡수하여 계속 새로운 業種으로 進化해 가는 길입니다.”

Nylon 개발에 관한 本稿가 독자에게 특히 산업계에서 일하시는 분들에게 조금이라도 도움이 되었으면 하는 마음 간절하다.

끝으로 여러가지 자료를 보내주신 Du Pont 한국지사에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. Alexander Todd, *Chem. Eng. News*, Oct. 6, 1980, p28.
2. R. E. Heckert (Chairman, DuPont Co.), “R & D Press Briefing, 50th Anniversary of Nylon / Teflon”, Washington D. C., Jan. 12, 1988.
3. J. K. Smith, D. A. Houndshell, *Science*, **229**, 436(1985) ; G. B. Kaufman, *Chemtech*, 725

- (Dec. 1988).
4. H. Hoover, *Mech. Eng.*, **48**, 6(1926).
5. C. M. A. Steine to Executive Committee, “Pure Science Work”, Dec. 26, 1926. Acc. 1784, (Hagley Museum and Library (HML) 소장).
6. C. M. A. Steine to Executive Committee, “Fundamental Research by the DuPont Co”., Mar. 31, 1929, Acc. 1784. (HML 소장).
7. R. Adams, Interviews by J. B. Mellecker (Nov. 20, 1964). Adams Papers, Box 9, Univ. of Illinois Archives.
8. Carothers의 一代記에 대해서는 많은 문헌이 있다. 代表例 : R. Adams, *Nat'l. Acad. Sci. Biogr. Mem.*, **20**, 293(1939).
9. C. M. A. Steine to Carothers, “A Letter” Sept. 20, 1927 ; and Carothers to Steine, “Letter”, Sept. 23, 1927. (이 편지들도 HML에 소장되어 있는 것으로 믿어짐).
10. J. B. Conant to R. Adams, “Letter”, Mar. 8, 1927, Conant Papers, Box 3, Harvard Univ. Archives.
11. Carothers to Bradshaw, “Letter”, Nov. 9, 1927. (HML).
12. Carothers to Tanberg, “Early History of Polyamide Fibers”, Feb. 19 (1936). (HML에 소장되어 있는 것으로 믿어짐).
13. W. F. Harrington, “A Recollection”, Acc. 1813, Box 2, (HML).
14. E. B. Benger to Bolten, “Fundamental Research Policy”, DuPont Document, Nov. 7, 1930 (HML 소장?).
15. Carothers, “Fundamental Research in Organic Chemistry at the Experimental Station—A Review”, Aug. 5, 1932, Acc. 1784, Box 16.
16. H. Mark, G. S. Whitby, Eds., “Collected Papers of W. H. Carothers on High Polymeric Substances”, Interscience, N. Y. 1940.

17. D. D. Coffman, Central Chemical Department Lab. Notebook No. 1293, p.39 : Notebook No. 2150, pp. 140-146(Coffman은 당시 Carothers의 助手).
18. J. D. Barhydt, "Angels had help with Nylon", "Miracle", *DuPont Background*, (1988).