

天然纖維와 合成纖維

—나이론 3 과 나일론 4 를 中心으로—

崔 浦 錫*

1. 序 論

Carothers 의 나이론 合成과 더불어 始作된 合成時代는 40餘年의 歷史가 말해주듯 우리들의 衣生活에 많은 變化를 가져왔다. 合纖의 3大主種을 이루는 나이론, 폴리에스터 및 아크릴 纖維는 우리나라에서도 經濟開發 5個年 計劃의 實施와 더불어 長足の 發展을 거듭하여 三星石油化學의 TPA 工場, 麗川石油化學團地의 에틸렌 클리콜 工場이 完工되는 70年代末에는 原料에서 織物에 이르기까지 모두가 國産化될 時期에 있다. 그러나 需要面으로 본 天然 및 合成纖維의 比率는 아직도 天然纖維가 훨씬 높아 60% 이상을 차지하고 있다. 이中 大部分이 天然綿으로서 全體 纖維 消費量의 55%이고 나머지가 毛織糸의 天然絹이다. 이러한 消費面에서의 趨勢는 人間의 衣生活의 一面을 反映하는 것이며, 流行이나 時代의 變遷에 敏感한듯 하면서도 feeling(感觸)에서 오는 基本心理反應은 크게 變할 수 없다는 것을 말해 주고 있다. 合纖이 가지는 強韌性이나, 耐藥品性 等만으로는 充足되지 못하고 天然纖維의 特色으로 알려진 制電性, 吸汗性 等を 要求한다는 結論이다.

合纖時代가 始作된 以來, 이 方面의 研究開發에 從事해온 高分子化學者들은 合纖이 가지는 制約性을 일찍부터 知覺하고 있었으며, 制電性, 吸汗性 等の 缺點을 補完하여 좀 더 天然纖維에 가까운 合纖材料를 만들려고 努力해 왔다. 筆者는 이 總說을 통하여 이러한 努力의 歷史의 背

景과 걸어온 발자취를 더듬어 보며 오늘날 未解決로 남아 있는 脆弱點들을 指摘함으로써 앞으로의 研究方向 設定에 도움이 되기를 바란다. 이 總說에서 alicyclic, polyamide (Du Pont의 QUIANA)나 modified acrylic(東洋紡의 Chinon) 등과 같은 合成綿을 指向한 間接的 approach와 셀룰로오스의 骨格自體의 合成의 重合을 指向한 基礎研究는 討議對象에서 除하고 最近 10餘年의 가장 企業化 可能한 纖維材料로서 論難의 對象이 되었던 나이론 3 및 4의 研究現況에 局限하고자 한다.

2. 나이론 3

合成纖維의 材質을 論할 때 重合體의 基本的 化學構造나 物性面도 重視해야 하지만 그 보다도 出發物質이 값싼 石油化學 原料에 依存해야한다는 條件에 수반된다. 이러한 觀點에서 볼 때 나이론 3은 acylamide (AM)를 出發物質로 하고 있는데 큰 利體이 있다. 나이론 3은 $[-NHCH_2CH_2CO-]_n$ 의 化學構造를 가지는 物質로서 poly-β-alanine 이라고도 일컬어 지며 AM의 水素轉移 重合(hydrogen transfer polymerization)에 依하여 얻어진다. 化學構造面에서나 物性面에서 絹과 恰似하며 폴리펩티드 纖維의 경우와 같이 高融點(340°C)의 重合物이기 때문에 熔融紡糸는 不可能하다. 그러나 吸濕性, 染色性 等은 天然絹에 가까운 物性을 가진다

나이론 3이 本格的인 學論對象이 된 것은 Breslow¹ 等に 依한 AM의 水素轉移重合이 알려진 1954년이었으며 그후 日本 및 歐美諸國에서 特許 및 學術誌에 많은 研究報文이 發表되었

*KIST 高分子化學研究室長

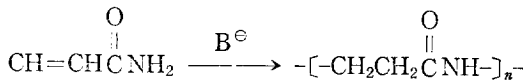
다^{2,3}. 특히 日本에서는 旭化成에서 正本 等を 中心으로 企業化를 指向한 研究가 오랜 세월에 걸쳐 이루어졌으며 學術誌와 特許에 알려지지 않은 많은 研究業績이 大纖維會社의 研究室에 蓄積되어 있었으리라고 推則된다.

2.1. 合成法

나이론 3은 (1) AM의 水素轉移重合 : (2) β -propiolactam 및 1,5-diazacyclooctane-2,6-dione의 開環重合 : (3) 其他 方法 등이 알려져 있고 最近에는 (4) AN의 直接水和法에 의한 重合法 등이 알려져 있다.

2.1.1. Acrylamide의 水素轉移重合

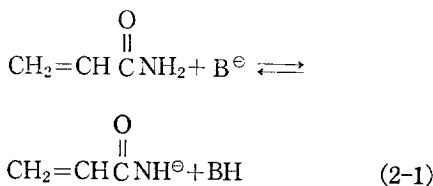
AM은 少量의 強鹽基觸媒 存在下에서 다음과 같은 水素轉移重合을 일으킨다.



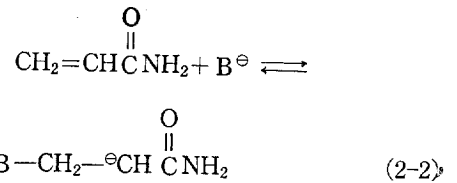
強鹽基觸媒로는 *t*-BuONa (또는 *t*-BuOK), *n*-BuLi 등이 사용되며, 通常 不溶性 溶媒인 dioxane, toluene, *o*-dichlorobenzene, pyridine 中에서 이루어진다. 上記 重合反應은 보통 溶媒重合과는 달리 均一溶液反應이 아니고 反應途中에 相變化를 일으키므로 反應動力學이 複雜하여 一段沈澱되어 分離되는 重合體 表面에서의 反應이 持續된다. 이러한 現象은 生成되는 나이론 3이 難溶性이어서 普通 有期溶媒에는 不溶이라는데 起因하며 나이론 6이나 나이론 66에서와 같은 均一한 溶融縮合과는 反應 條件이 全혀 다르다.

2.1.2. 水素轉移 重合의 反應機構

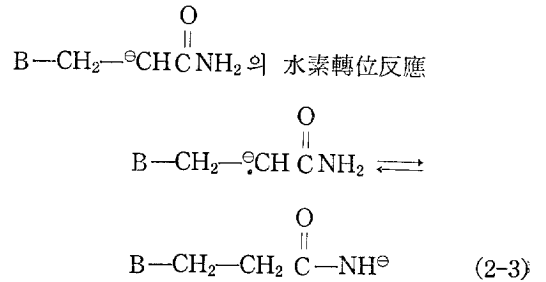
開始劑인 alkoxide 나 alkyl lithium 과의 初期 反應은 다음 세가지 境遇를 생각 할수 있다. 첫째 경우는 base B[⊖]에 의한 amide hydrogen의 absorption, 卽



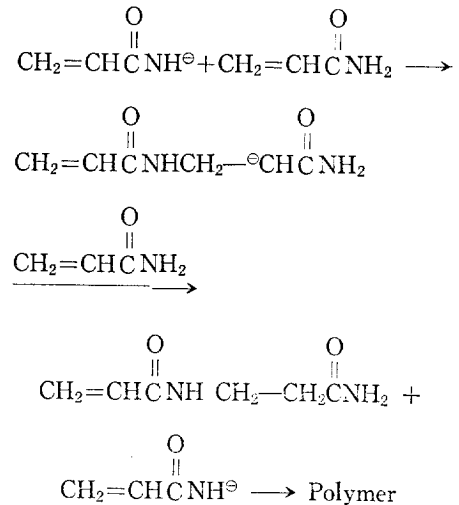
둘째 경우는 B[⊖]의 二重結合에의 添加反應



셋째 境遇는 (2-2)反應으로 生成된



生長反應은 上記式 (2-1)이나 (2-3)의 二重結合에의 附加反應 및 生成된 陰이온의 水素轉移 反應의 反復으로 이루어진다.



上記의 反應機構에서 볼 수 있는 바와 같이 (2-2) 혹은 이와 類似한 二重結合의 陰이온이 直接 他分子와 反應하는 時は 通常의 비닐중합이 일어나게 되어 目的한 나이론 3의 폴리아미드의 結合이 缺如된다. 이와 같은 副反應으로 因하여 高分子量의 폴리아미드를 얻기 어려운 場合가 많다. 따라서 나이론 3의 成功的인 合成은 어떻게 副反應인 비닐중합을 억제하고 高分子量의 폴리아미드를 얻느냐 하는 問題로 歸着

된다.

2.1.3 나이론 3의紡糸⁴ 및物性

나이론 3은 高融點 (340°C)이며 融點 附近에서 熱分解하므로 濕式紡糸法에 依해서만 纖維를 얻을 수 있다. 重合體를 포름산에 溶解하여 38~40%의 紡糸溶液(dope)을 만든 다음 凝固槽(coagulating bath)중에 紡糸하게 된다. 凝固劑로는 通常 propanol, butanol, hexanol, THF, dioxane 등의 有機溶媒가 쓰이며, 脫溶媒에 依한 gel化로 纖維構造가 形成된다. 延伸은 空氣槽나 金屬板上 등의 乾熱延伸法을 채택하고 延伸後에는 熱水에 浸漬하여 後處理를 함으로써 伸度를 20% 程度 올릴 수 있다.

나이론 3의 物性は 表 I에 要約한 바와 같다. 吸濕性과 彈性率은 絹과 恰似하며 나이론 3의 特性은 amide 基의 密度가 높음으로써 오는 絹과 같은 性質에 있다고 하겠다.

表 I. 나이론 3 纖維의 性質

性質	나이론 3	絹	나이론 6
融點(°C)	340	—	215
密度(g/cm ³)	1.33	1.37	1.14
強度(g/d)	2~3	3.3~5.5	4.1~5.8
伸度(%)	10~20	13~25	26~40
彈性率(kg/mm ²)	800~1,200	650~1,200	80~250
吸濕(%)	7	9	4~4.5

2.1.4. 問題點 및 展望

나이론 3은 포름산을 溶媒로 하여 濕式紡糸해야 한다는 것이 致命的인 缺點으로 남아 있다. 現在로써는 포름산에 依하여 濕式紡糸되는 合纖은 아직 없으며, 工業적으로 可能的한 濕式法을 開發함에는 많은 問題點을 內包하고 있다. 이러한 理由 때문에 비록 物性は 天然絹에 가까운 優秀한 性質을 가진 纖維이나 當分間 實驗室 領域을 벗어나지 못할 것으로 豫想된다. 合成法 및 加工法은 많은 改良의 餘地가 있으며 손쉬운 濕式紡糸法이 開發되면 充分히 發展시킬 수 있으리라 期待된다.

3. 나이론 4

天然高分子中에서도 綿은 일찍부터 人類의 衣

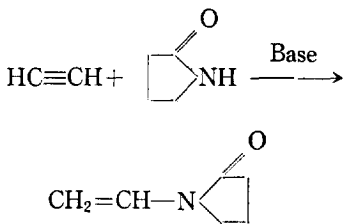
生活이 重要的 部分을 차지해 왔고 合成纖維의 全盛期를 이룬 오늘날에도 天然纖維가 아직도 全 纖維 消費量이 半以上을 차지하는 큰 原因도 天然綿을 대치할 合纖이 開發되지 못한 데 있다. 여기서 合成綿을 物性面 뿐만 아니라 生産原價面에서도 天然綿과 競爭할 수 있어야 한다는 큰 制約을 받고 있다. 값싼 石油化學原料로 부터 天然綿과 같은 物性を 가진 合成纖維를 製造할 수 있다면 化纖業界뿐만 아니라 날로 줄어가는 경작 면적을 綿栽培에 쓰지 않고 食糧難 해소를 위한 糧穀이나 食用作物栽培에 轉用할 수 있다는 點에서도 人類에 對한 기여는 實로 크다 하겠다. 이러한 觀點에서 볼 때 나이론 4의 研究는 初期부터 많은 企業研究所뿐만 아니라 高分子 學界의 研究者들 間에도 큰 關心事가 되어 왔다.

나이론 4는 γ -Pyrrolidone을 開環重合하여 얻어지는 폴리아미드로서 나이론 6와 나이론 2 (폴리펩티드 纖維)의 中間에 位置하고 있다. 物性面에서 볼 때 制電性 吸濕性 染色性 등은 天然綿과 흡사하며 其他 모듈러스, 伸張強度, 破斷伸度 등의 物理的 性質은 나이론 6와 比等하다. 그래서 나이론 4가 알려지기 始作한 1950 年代 中半부터 나이론 4는 나이론 6과 天然綿의 長點을 모두 겸비한 理想的인 섬유로서 各광을 받아 왔다. 그러나 이러한 꿈의 化纖이 아직도 研究所의 영역을 벗어나지 못하고 學者들 間의 關心事로 남아 있는 理由는 무엇일까? 그 研究開發의 背景과 問題點들을 알아 보기로 하겠다.

3.1. 歷史的 考察

나이론 4는 紡糸된 纖維의 優秀성이 알려지기 以前 卽 重合體로서의 存在가 確實視된 直後부터 論離의 對象이 된 高分子物이다. 폴리아미드 및 폴리에스테르에 關한 Carothers의 基礎研究 結果가 알려진 以來 5員環이나 6員環의 락탐의 開環重合은 特殊한 경우를 除하고는 一般的으로 重合度가 낮고 安定한 高分子物을 얻기 어렵다는 것이 常識으로 되어 있었다. 따라서 γ -pyrrolidone의 開環重合도 研究開發의 對象 밖이었다.

나이론 4의 歷史는 Carl Barnes 라는 人物을 中心으로 始作되었다. Barnes가 GAF(General Aniline and Films)의 研究員으로서 PVP(polyvinylpyrrolidone)의 모노머인 *N*-vinylpyrrolidone의 合成 研究에 從事하고 있을 當時 γ -pyrrolidone과 acetylene의 附加反應을 強鹽基를 觸媒로 써서 効率化하는 驗實을 하고 있었다. 同僚인 Ney와 함께 이 當時 觸媒와 γ -pyrrolidone과 効率間에 어떤 相關關係가 있음을 發見했다. 卽 觸媒의 量 및 γ -pyrrolidone과의



接觸時間에 따라 *N*-vinylpyrrolidone의 收率이 크게 變化한다는 事實을 發見했다. 그 後 Barnes는 Ney와 함께 GAF를 떠나 Arnold, Hoffman & Co(현재의 ICI America)로 옮겼고 여기서 Barnes, Ney 및 새로 한 팀이 된 Nummy의 3人은 GAF에서의 驗實을 좀 더 자세히 살펴 볼 수 있었다. 아세틸렌 不在下에서 γ -pyrrolidone과 強鹽基만을 反應 시켜본 결과 비록 分子量은 낮지만 高融點의 高分子物을 얻을 수 있다는 것을 發見했다. 이것이 바로 poly- γ -pyrrolidone 또는 오늘날 우리들이 通常 일컫는 나이론 4였다. 그러나 γ -pyrrolidone의 開環重合이 可能하다는 것을 實驗적으로 立證 했을뿐 高分子의 安定한 重合體를 얻기까지는 遼遠한 狀況에 있었다.

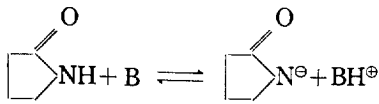
그 後 Barnes와 그의 共同 研究者들은 Arnold, Hoffman & Co를 모두 떠났고 研究는 一段 中斷 되었으나, 나이론 4의 開環重合에 關한 特許 및 報文은 無數히 쏟아져 나왔고, 特히 *N*-acetylpyrrolidone과 같은 activator(또는 co-catalyst)에 對한 나이론 4의 安定化에 對한 研究가 活潑히 進行되었다. 纖維로서의 나이론 4가 처음으로 試製된 것은 Barnes의 指導下에 3M Co.에서였으며 이 試製品은 熱에 對한 [安定度

가 缺如되어 있었고 低分子量의 副產物을 抽出에 依하여 除去해야만 溶融紡糸할 수 있다는 缺點을 內包하고 있었다. 그 後 나이론 4는 實驗室內的 神秘物로서 오래동안 남아 있었고 工業적으로 生産이 가능한 合成纖維로서는 一段 拋棄한 狀況에 있었다. 나이론 4의 發見者인 Barnes 自身도 一段 研究生活에서는 隱退했었고 아무런 進展이 없었지만 또 Barnes 自身の 나이론 4에 對한 愛着때문에 自己집 車庫 한구석에 實驗室을 차리고 本人 自身이 直接 實驗管을 들고 나이론 4의 合成을 試圖하기 始作했다. 이때 까지만 해도 Barnes 自身은 直接 自己 自身이 나이론 4를 合成해 본 적이 없었고 同僚 研究員에 依해서 만들어 졌던 것이다. 많은 偉大한 發明이 그러했듯이 나이론 4의 境遇도 偶然한 機會의 한 科學者의 細心한 觀察力이 新製品 開發에 貢獻한 바가 크다. Barnes가 自己 車庫 實驗室에서 發見한 重要한 事實은 空氣中에 있는 微量의 炭酸가스에 依해 重合이 促進된다는 事實이었다. CO₂가 觸媒作用을 할 뿐만 아니라 生成된 나이론 4가 物性面이나 熱에 對한 安定도가 從前의 나이론 4와는 全然 다른 物質임을 確證했을때 Barnes는 隱退生活에서 다시 나와 Al-rac. Corp. 라는 新會社를 만들고 本格的인 나이론 4 開發에 着手했다.

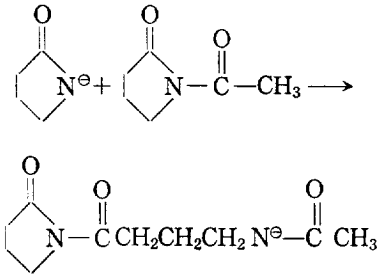
3.1. 나이론 4의 重合 및 重合機構

通常 나이론 4의 重合은 陰이온 重合에 依하여 이루어지며 反應條件 및 反應機構는 나이론 6의 強鹽基에 依한 開環重合과 흡사하다. 卽 γ -pyrrolidone에 少量의 Na, NaH, K 또는 KOH(이 경우는 生成된 물을 減壓下에서 除去하여야 함)등을 加하여 sodium 또는 potassium pyrrolidionate로 만든 다음, 極微量의 *N*-acetylpyrrolidone을 加함으로써 50°C 附近에서 重合이 進行된다. 지금까지 알려진 나이론 4 重合에 對한 反應機構를 要約하면,

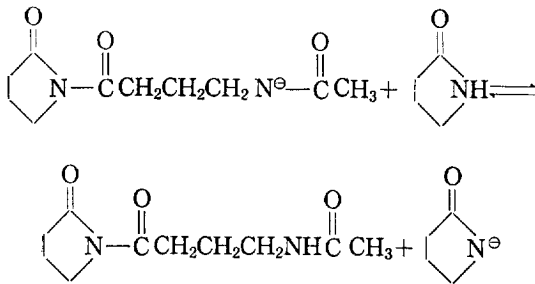
第一段階 “active monomer”의 生成……모노머에서 base로의 proton transfer



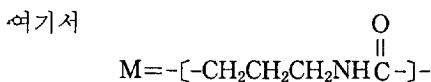
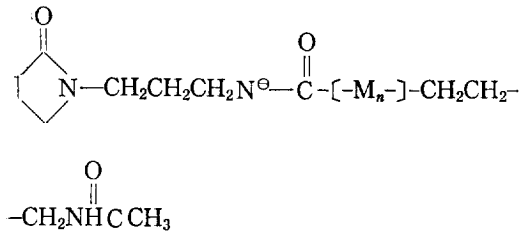
第二段階 “active monomer”의 *N*-acetylpyrrolidone 에의 附加反應



第三段階 “active monomer”의 再生反應…… 새로운 pyrrolidone 分子에 依한 中和反應



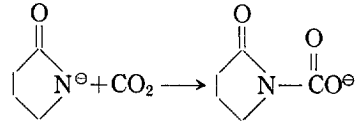
第四段階 및 다음段階 (propagation)



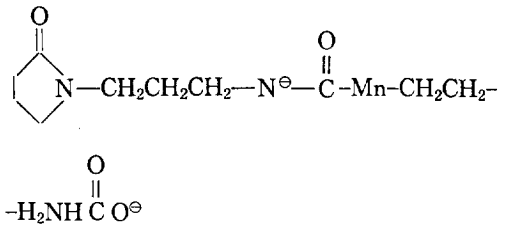
上述한 重合機構는 나이론 4 뿐만 아니라 나이론 6, NCA (*N*-carboxyanhydride)의 開環重合等에도 通用되는 것으로서 強鹽基에 依한 陰이온 重合은 類似한 反應機構에 依한다고 보고 있

다.

CO₂를 activator로 使用하는 경우도 反應機構는 根本上로 上述한 바와 같다. 다만 *N*-acetylpyrrolidone 代身에 *N*-carbonate anion이 activator의 役割을 하게 된다.



따라서 重合鎖의 末段基가 carbonate가 된다.



이와같은 carbonate group의 導入은 重合初期의 trans-initiation의 機會를 말살하고 또한 生成된 重合體의 末段基 構造에 變化를 가져옴으로서 安定성에 變化를 일으키게 된다. 이것이 바로 Barnes가 發見한 새로운 나이론 4의 重合이었다. 重合初期에 있어서 trans-initiation의 缺如는 高分子量의 나이론 4 生成을 可能케 했고 이러한 事實은 GPC(gel permeation chromatography) 및 熱分解 速度 實驗結果에 依해서 實證되었다.

3.3. 나이론 4의 紡糸 및 物性

나이론 4는 보통 溶融紡糸法에 依하여 多様な 品種의 실을 만들 수 있다. 融點은 273 °C이고 溶融紡糸機의 壓出溫度는 268~286 °C, L/D ratio, spinneret는 任意로 調節할 수 있다. 紡糸된 실은 65 % RH 및 76 °F에서 24時間 調節한 다음 보통 draw-twister에 依하여 延伸 및 heat-setting을 하게 된다.

나이론 4의 特性은 섬유自體가 天然綿에 가까운 物性を 가졌다는데 있다. 나이론 4의 物性を 要約한 結果를 아래 表 II에 記述하였다.

表 II에서 보는 바와 같이 吸濕度, 染色性 및 ironing의 特性을 天然綿과 恰似하고 나머지 物性は 나이론 6에 匹敵한다.

表 II. Typical Fiber Properties

Fiber Material	나이론 6	나이론 4	면
Chemical Formula	$-\left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ -\text{N}- \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{C}- \end{array} (\text{CH}_2)_5 \right]_n-$	$-\left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ -\text{N}- \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{C}- \end{array} (\text{CH}_2)_3 \right]_n-$	$-\left[\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 \right]_n-$
Melting Point °C	220	265	300 (dec.)
Specific Gravity	1.14	1.25	1.54
Tenacity (g/d)			
Dry	4.1~5.8	4.0~6.0	3.0~4.9
Wet (% of Dry)	85~90	75~80	100~110
Elongation %	17~45	20~50	3~10
Loop Strength (g/d)	3.8~5.6	3.6~5.4	—
Knot Strength	3.8~5.5	3.6~5.4	—
Initial Modulus g/d	18~23	18~35	60
Elastic Recovery (% recovery from 5% strain)	99.5	100	45
Energy to Rupture (g-cm/den-cm)	0.67~0.90	0.60~0.93	0.06~0.17
Moisture Regain (%)	4.5	6.0~9.0	7.0~8.5
Ironing Characteristics	Melts at Cotton Setting	Can be ironed at Cotton Setting	recommended ironing temperature 400~450°F
Dyestuffs Used	Metal Complex Dyes Preferred	Same as Cotton	Direct, Vat, Azoic, Basic Mordant, Pigments Sulfur

3.4. 問題點 및 展望

나이론 4는 1950년대 初期부터 始作되어 오늘에 이르기까지 많은 問題와 關心을 불러 일으킨 섬유이다. 끝으로 나이론 4 開發의 問題點들을 俱體的으로 指摘함으로써 國內高分子學者들의 未來의 合纖에 對한 關心과 研究活動에 參考가되기를 希望한다. 但 이러한 見解는 著者 自身の 經驗과 知識에 依한 偏見的 要素가 많이 內包되어 있을 것을 미리 말해 두고 싶다.

첫째 나이론 4 開發의 가장 큰 障壁은 폴리머에서 얻어지는 fiber yield가 낮다는 것이다. 나이론 6이 처음 工業化 되었을 當時의 fiber yield가 90%였던 것이 오늘날 95% 이상을 넘는 纖維로써 發展하기까지 많은 研究開發이 뒤따른 것처럼 나이론 4로 앞으로 fiber yield의 上昇을 爲한 努力이 必要할 것이다. fiber yield의 向上은 폴리머 自體의 安定性 問題 卽 end-capping의 問題로 歸着되며, un-zipping 및 pinching 反應을 最小限으로 할 수 있는 末段基의 安定化 問題가 더 研究되어야 하리라고 믿는다⁵. 이와는

다른 角度에서 濕式紡糸에 依한 纖維의 製造도 考慮해 볼 만하다. 값싸고 低沸點의 中性 또는 弱鹽基性 溶媒를 찾을 수 있다면 濕式 紡糸法도 經濟的인 프로세스가 될 수 있으리라고 본다.

둘째는 現在의 重合方法을 工業化할 수 있는 方法으로 改良해야 하리라고 믿는다. 現在 文獻 또는 特許에 알려져 있는 것은 工業的으로는 不適하며 polymer yield가 낮다. 이는 重合 自體가 一種의 freezing polymerization과 같아 未反應 또는 oligomer의 生成量이 많기 때문이다. 均一한 system에서 重合效率를 높일 수 있는 길이 여러가지 있을 수 있다.

셋째는 生成된 纖維의 fibrillation의 問題다. Alrac의 Tajimir™(Alrac의 나이론 4의 商標)가 fibrillation의 缺點을 많이 解消했다고는 하나 아직도 完全한 것이 못되며, 이러한 問題는 纖維의 後處理 過程에서 많이 改良될 수 있으리라고 믿는다.

넷째로 單量體인 γ-pyrrolidone의 低廉한 工業的 合成法에 對한 研究가 必要하리라고 믿는다.

다. 現在는 acetylene 과 formaldehyde 로 부터 Reppe 法에 依한 process가 工業적으로 알려져 있으나 앞으로는 maleic anhydride 法, acrylonitrile의 hydroformylation 또는 靑酸附加反應 等에 依한 저렬한 모노머의 合成法이 開發될 것으로 期待된다.

以上 네가지 主要 問題點을 指摘했다. 1960年代에 Alrac Corp. 및 Southern Research가 中心이 되어 研究開發이 活發했던 나이론 4는 이제 是 Chevron Research 및 日本의 三菱研究陣에 依하여 本格的인 工業化研究로 들어가고 있다. 韓國人으로서도 韓國科學院의 崔三權博士가 在美時 Alrac Cor.에서 研究開發에 直接 參與했고 間接的이나마 朴達祚博士가 University of Colorado에서 이에 參與한 적이 있다.

모든 新製品開發이 그러했듯이 나이론 4 또 한 끊임없는 改善과 研究開發이 持續되어야만 하나의 完全한 商品으로써 登場하게 되는 것이

다. 나이론 4 自體가 지닌 特性때문에 멀지 않은 장래에 商品化될 것은 틀림없다.

인 용 문 헌

1. D. S. Breslow, G. E. Hulse, A. S. Matlack, *J. Am. Chem. Soc.*, **79**, 3760 (1957); A. S. Matlack (Hercules Powder Co), *USP* 2, 672, 480(1954).
2. N. Ogata, *Bull. Chem. Soc. Japan*, **33**, 906 (1960); *J. J. Polymer Sci.*, **46**, 271 (1960); *Makromol. Chem.*, **40**, 55 (1960).
3. 正本順三, 大泉千尋, 小林秀彦, *ibid.*, **26**, 638 (1969).
4. 正本順三, 金子洋子, 笹栗駿一郎, 小林秀彦, *纖維學誌*, **25**, 525 (1969).
5. *J. Res. Nat. Bur. Stand., Sect A*, **70A**, 487 (1966).

폴리머 技術 뉴스

자성 반투막 마이크로 캡슐(Magnetic Semipermeable Microcapsules)

두개의 미국 특허 (M. J. Marquisee and W. W. Prichard, U.S. 3,954,666 and 678-Du Pont)에 보고된 바에 의하면 효소 또는 반응 촉매에 반응물 및 반응 생성물이 통과 할 수 있는 반투막으로 직경 1—200 μ 의 마이크로 캡슐을 만들었다. 이 기술의 특징은 철자석을 마이크로 캡슐 제조시에 첨가하여 좁으로써 캡슐을 자성화한 것이다.

이렇게 함으로서 적은 입자의 촉매들을 자장내에서 교반 또는 분리를 용이하게 할 수 있는 것이다. 예를 들면 PtO_2 와 철분을 계면 중합의 방법으로 유화계를 첨가한 후 diacid chloride와 diamine을 사용하여 중합을 시킴으로써 PtO_2 와 철분을 포함하는 마이크로 캡슐을 만들며, 이 캡슐이 수소화 반응의 촉매로서 유용하게 쓰이는 것이다.

(*Chemtech.*, Dec. 1976)