

고무加工技術의 最近動向

總 論

協 會 李 源 澤

이 資料는 「日本고무協會誌」 3月號에 掲載되었던 것으로서, 고무加工技術의 最近의 動向에 대하여 고무關係 專門家들이 現場經驗을 살려 執筆한 것인데, 이번 號부터 몇 차례로 나누어 轉載하기로 한다. 따라서, 이번 號에는 그 첫번째로 「總論」을 싣는다.……………〈編輯者註〉

1. 背 景

美國化學會의 고무部門은 다른 部門과는 달리 春秋 2회에 걸쳐 會議가 열린다. 이 會議에는 每回 千餘名에 達하는 人員이 參加하여 盛況을 이루는 것이 예사이며, 그 가운데 半가량은 세일즈맨으로 채워지는 것이 特徵이다.

그리고, 이 會議에서는 科學·技術에 대한 討議를 비롯하여 商品 및 加工機械도 展示되며, 이에 결 들여 각테일파티, 歡迎宴 등의 行事도 벌어진다. 그러나, 1980年初에는 不景氣로 말미암아 參加者 數는 千名以下로 줄어들어 모임의 規模도 적어졌고 會議場은 狹隘하기만 했다. 그리하여, 고무産業은 이제 成長을 멈춘 産業이라는 悲觀論이 擡頭되기에 이르렀다.

그 무렵 어떻게 해서든 고무産業을 일으켜 세우 려는 運動이 一部 業界指導者들 사이에서 일어났 으며, 그렇게 하기 위해서는 技術에 대한 再檢討가 必要하다는 데 意見이 모아졌다. 예컨대, 1982年 5 月에 Philadelphia에서 開催된 春季年例會에서는 ‘Creativity and Innovations in Rubber Industry’ 란

主題로 심포지움이 열렸다. 또 그해 가을 Chicago 에서 開催된 秋季年例會에서는 醫藥分野에의 應用 에 關心을 끌기 위해 ‘Innovation in Medical and Pharmaceutical Uses of Rubber’란 主題로 심포지 움이 열렸다. 그것은 이 分野와 이미 10억달러規 模의 去來가 이루어졌을 뿐만 아니라, 向後 이 分 野의 飛躍的인 成長이 期待되고 있었기 때문이었다.

上記한 醫藥分野에의 應用에는 軟質塩 비닐이나 폴리우레탄도 包含되어 있었으며, 包括的인 意味 에서의 고무工業, 즉 從來의 이른바 고무材料뿐만 아니라 더 나아가 熱可塑性고무나 複合材料에도 關心을 擴散시키기에 이르렀다.

1983년에 들어와 景氣가 조금 回復되었는데, 그해 봄 Toronto에서 開催된 고무學會에서는 Polysar의 社長이며 最高經營者인 Robert S. Dudley氏가 강한 語調로 講演을 했다. ‘진정 고무工業과 같은 成熟 工業이라 하더라도 반드시 成功하지 못할 理由는 없다. 그 實例로 尖端技術工業과 成熟工業을 比較할 경우 利益面에서 큰 差異가 없다. 그러나, 成熟工 業으로서의 命脈을 維持하기 위해서는 다음의 세 가지 點에 努力해야 한다. 즉, 優秀한 技術을 保有할 것, 組織內 및 組織間 意思傳達이 充分히 이루어

지도록 할 것, 그리고 革新的인 雰圍氣를 維持할 수 있도록 할 것 등이다' 라고.

이 總論에서는 이 時期의 不景氣를 轉期로 하여 일어난 고무工業에 있어서의 變化를 中心으로 最近의 動向을 敍述해 보기로 한다.

여기에서 타이어産業으로 눈을 돌려 보면, 에너지 危機를 轉期로 하여 小型車가 增加하였고, 이에 따라 타이어도 小型化하게 되었다. 또한 래디알 타이어의 導入과 技術의 發達에 따라 타이어의 壽命도 길어지게 되었다. 그 때문에 타이어産業은 成長하지 않는 産業일 뿐만 아니라 縮小해야 할 必要가 있는 産業이라는 主張이 擡頭되기에 이르렀다.

그리고, 美國內에서의 主要 타이어會社は 3社 정도로 整備되었고, 게다가 1社は 그동안 外國會社로 넘어갔다는 臆測이 떠들게 되었다. 여하튼 各社 모두 徹底한 生産合理化로 會社의 힘을 키우기 시작했다. 이와 같은 傾向을 특히 促進하는 契機가 되었던 것이 곧이어 일어난 또하나의 經濟悲劇, 즉 'Hostile take over事件'이다. 거의 모든 타이어會社가 이 事件에 휘말려들게 되었다.

이에 대한 防止策으로 株式을 되사기 위해 타이어會社들은 巨額의 資金을 借用할 수밖에 없었으며, 그 借入金을 償還하기 위해 타이어部門을 母會社로부터 分離하여 賣却하거나, 혹은 타이어部門을 살리고 다른 部門을 賣却하는 등 타이어會社의 再編成이 이루어졌는데, 이로 인하여 生産合理化에 拍車를 加하게 되었다.

타이어 製造技術은 매우 複雜하여 수많은 生産工程을 거쳐야 함에도 불구하고 大衆商品이라는 制約 때문에 價格策定에 問題가 있어 利益은 적은 편이다. 또한 競爭力있는 優秀한 品質의 商品을 生産하기 위해서는 研究開發에 힘쓰지 않으면 안 된다. 그러기 위해서는 莫大한 資本이 必要하다. 따라서, 會社의 規模가 커지지 않으면 살아남을 수 없다는 것이다. 그것이 타이어産業이 大規模·少數化하는 理由인 것이다.

고무工業은 타이어뿐만 아니라, 수많은 部品을 自動車工業을 위해서 供給하고 있다. 그것은 실

(seal), 개스킷(gasket), 벨트(belt), 호스(hose), 모터마운트(motor mount), 와이어케이블(wire cable) 등 여러가지가 있다. 따라서, 性能에 대한 要求度도 매우 多樣하다. 그러나, 共通적으로 要求되는것은 品質, 특히 長期保證이 要求되는 것이다. 왜냐하면, 自動車는 人體와 마찬가지로 수많은 部品으로 構成되어 있어, 그 가운데 한 가지만 못쓰게 되어도 全體를 움직일 수 없기 때문이다. 그러나, 以前에는 部品이 좋지 않으면 交換하면 된다고 생각한 나머지 간단히 交換할 수 있는 값싼 部品을 使用했었다.

最近에 들어와 이와 같은 傾向은 反轉되었다. 그것은 各種 모델의 車에 관하여 修理頻度에 대한 統計가 公表되는 現實狀況이 部品의 品質競爭에 影響을 미치고 있기 때문이라고 생각한다.

應用面을 醫藥分野로 돌리면 品質保證問題는 더욱 까다로워져, 性能뿐만 아니라 人體에 해롭지 않아야 한다는 條件이 追加된다. 더우기 宇宙航空의 用途를 이야기하게 되면 Challenger의 悲劇으로 象徴되는 것처럼, 고무 실(seal)은 그 性能이 最大限으로 發揮될 수 있어야 한다.

여기에서 고무工業의 變轉을 整理하여 보면, 前述한 不景氣를 하나의 轉期로 하여 思考方式이 바뀌게 되었다. 즉, 값이 싸면 競爭이 可能하다든지, 못쓰게 되면 交換하면 된다든지 하는 思想에서, 品質이 좋지 않으면 産業으로서 살아남을 수 없다고 생각하게끔 되었다. 뿐만 아니라 最適의 材料를 使用하여 最高의 能力을 發揮하려는 方向으로 나아가고 있다. 以上을 背景으로 하여 다음에 고무技術의 動向을 記述해 본다.

2. 고무技術의 動向

고무技術의 動向을 ① 材料의 選擇, ② 加工工程의 合理化, ③ 品質管理의 徹底, ④ 材料에서 製品까지의 過程을 一貫한 System化라는 4가지 側面에서 考察해 보고자 한다.

(1) 材料의 選擇

一般的으로 高分子材料를 選擇할 경우 加工의

難易도와 最終製品의 性能을 考慮해야 한다. 그러나, 兩者가 要求하는 바는 相反되는 경우가 많다. 그 좋은 例로, 熱可塑性樹脂에 있어서는 分子量이 높을수록 強度가 높아지게 되나 加工性이 困難한 點을 들 수 있다.

고무製品의 경우에는 이 점이 더 한층 重要視되고 있는데, 이는 混練의 難易도가 카아본블랙(carbon black)의 分散度에 影響을 미치기 때문이다. 따라서, 좋은 性能을 낼 수 있는 材料를 使用하더라도 混練의 困難 때문에 分散이 充分치 못하여 期待하였던 性能을 얻지 못할 可能性이 있다. 때문에 과거에는 加工의 難易도를 材料選擇과 마찬가지로 重要視했다.

그러나, 最近의 動向은 最終製品의 性能을 極限 點까지 끌어올리기 위해서 材料를 選擇하고, 그렇게 함으로써 加工의 困難을 克服하려고 하고 있다. 例컨대, 混입이 容易한 카아본블랙을 使用하기보다 粒子가 작아 混입이 어렵더라도 補強度가 높은 블랙을 使用한다든지, 더 一層 分散이 困難한 실리카(Silica)를 混入한다든지 하는 것이다.

고무材料面에서도 특히 混입이 容易하고 分子量 分布가 넓은 폴리머(Polymer:高分子化合物)를 要求하기보다도 오히려 回轉損失이 적으며 옆미끄러짐抵抗이 높은 타이어를 만들기 위한 材料를 選擇하고 있다. 따라서, 混練뿐만 아니라 加工技術全體에 대한 要求는 더욱더 까다로워지고 있다.

(2) 加工技術의 合理化

加工技術의 合理化는 모든 會社가 가장 努力을 傾注하고 있는 部門이기 때문에 嚴格한 祕密이 지켜지고 있다. 그래서 正確한 情報에 의한 記述은 어려우나 一般論으로서의 記述은 可能하다. 그것은 積極的인 自動化 및 工程管理를 徹底히 하는 것이다. 自動化는 可能한 限 連續化하고, 컴퓨터로 調節하며, 品質管理는 品質을 고르게 해야 한다. 고무製品은 材料面이나 製品의 構成面 어느쪽에서 보더라도 複合材料인 경우가 대부분이며, 또한 最終製品의 形狀도 複雜한 것이 많다. 따라서, 工程도 一括處理되는 경우가 많다. 그래서 嚴密한 工程管

理도 컴퓨터의 普及에 의해서 最近에 비로소 可能하게 되었다. 또한 作業過程面에서도 로보트의 實用化에 따라 비로소 自動化가 可能하게 된 部門이 많다.

品質을 고르게 하기 위해서는 構成材料의 分布를 고르게 하는 것만으로는 不足하다. 고무는 粘彈性體이므로 memory를 가지고 있다. 工程을 順調롭게 하기 위하여 材料의 各部分의 memory를 고르게 維持하는 것은 대단히 어려운 일이다. 押出機의 上端에 distributive mixing device^{1), 2)}를 裝置한다던가, Pin barrel^{2), 3)}을 使用하여 混合物의 溫度分布를 고르게 하는 등의 試驗을 한다. 또한 roller die²⁾를 使用하여 extrudate의 memory를 調整하고 있다.

3. 品質管理

加工技術의 合理化와 密接하게 關聯되어 있고, 같은 水準으로 變化가 일어나고 있으나, 무엇보다도 注意해야 할 것은 tester의 選擇일 것이다. 從來에는 既存의 tester에 依存하는 傾向이 있었으나, 요즘에는 加工의 各工程에 알맞은 tester를 選擇하려는 傾向이 있다.

混合物의 物性を 테스트할 경우 injection의 條件을 代表하는 tester를 使用하지 않으면 品質의 均一을 保證할 수 없다는 認識이 支配的이다. 더우기 醫藥에 應用할 때는 品質의 保證이 嚴格해서 性能, 다시 말해서 機能 테스트뿐만 아니라, extractable(配合藥品의 抽出可能性) 등 無害를 保證하는 테스트가 行하여진다.

4. 工程의 System化

從來부터 타이어會社에서는 컴퓨터 그래픽을 使用하여 複雜한 形狀을 그리거나 tire mechanics에 依據하여 타이어의 内部構造를 컴퓨터로 디자인하여 왔다. 더우기 材料에서 製品까지 一貫性있게 system化하여 材料를 設計하는 方法이 1970年度에 이미 Bridgestone社에서 發表되었다.⁴⁾

타이어製造에 關한 一切의 知識을 整理하고 system化하여 information bank로 함과 동시에 이 system을 利用하여 品質을 改良하고 新製品을 設計하는 데 活用하려는 努力이 行하여지고 있다. information bank에서 必要한 知識을 끌어내기 위해 人工知能을 使用하려는 試圖가 이루어지고 있다.

5. 研究의 動向

여기에서 Akron大學 高分子工學研究所(Center for Polymer Engineering)의 最近의 活動을 整理하여 보자. 1983년에 設立된 이 研究所에서는 出發에 즈음하여 고무會社의 共同出資에 의해 研究를 開始했는데, 이에 參加한 會社는 약 10個社나 되었다.

이 프로젝트는 'Rubber processing Engineering Agenda(Rupea)'라고 稱하여 고무加工의 各工程을 對象으로 하였다. 窮極的인 目的은 工程의 컴퓨터 模擬實驗을 可能케 하려는 것이다.

研究의 方法으로서 3가지의 主題로 分類했다. 즉, 고무材料의 舉動을 볼 것(Visualization), 模擬實驗에 必要한 材料의 基礎物性을 測定할 것(rhology와 熱收縮의 data), 模擬實驗模型을 만드는 것이다. 工程으로서는 먼저 混練과 押出이 選擇되었다.

(1) 混練工程의 研究

Miniature internal mixer를 使用, 正面 및 上部壁을 硝子板으로 하여 flow visualization을 하였다. 따로따로 着色한 生고무를 混合하여 가는 過程 또한 mixer 안에서의 움직임이 video에 捕捉되었다.

그리고, 고무의 種類에 따라 그 舉動이 다르다는 事實이 觀察되었다.⁵⁾ 이어서 카아본블랙 및 油類의 添加狀況에 대한 觀察 및 形狀이 다른 여러 種類의 回轉子(rotor)에 대한 混練性能의 評價를 實施하였다.⁶⁾ 이상의 作業과 並行하여 模擬實驗模型化에 대한 研究도 進行中이다.

(2) 押出工程의 研究

押出機内の 過程은 硝子板을 통하여 볼 수는 없

으나, 押出이 定常狀態로 되었을 때 멈추어 溫度를 높이고, 加黃한 후 screw와 함께 꺼내어 그 概要를 알아볼 수가 있다.^{7), 8)} 플라스틱 押出機中의 狀況을 알아보는 方法과 原理는 같다. 계속해서 이 方法은 reciprocating screw injection molding에도 應用되었다.⁹⁾

以上과 並行하여 模型化作業도 進行中이다.¹⁰⁾ 또한 押出速度를 높이기 위해, 그리고 die swell을 減少시키기 위해 Air lubricated die가 開發되었다.⁸⁾

(3) 그밖의 工程에 關하여

以上으로 混練과 押出에 대한 例를 들고 研究活動을 簡單히 紹介했지만, 그밖의 例로는 加黃中의 熱傳導에 대한 觀測¹¹⁾이나 compression mold에 있어서의 flow의 研究 등도 있다. 現在 進行中인 研究가 많으므로 앞으로 차차 發表될 것이라고 생각한다.

6. 앞으로의 問題

(1) 加工法 및 加工機械

전혀 새로운 加工法 및 加工機械가 發明될 것인지, 또 從來의 加工機械를 使用하여 飛躍의이며 高能率의 運用이 可能한지의 與否에 대한 質問에는 對答할 方法이 없다.

왜냐하면, 電子光學用이나 醫藥用 部品の 各各 獨특한 用途에 適合한 原料고무를 加工할 경우 반드시 從來의 加工法이 가장 알맞다고는 斷定할 수 없기 때문이다.

또한, 一般의 고무라고 呼稱되는 材料에서도 대단히 廣範圍한 物性을 包含하게끔 되었다. 따라서, 加工法도 많다.

極端的인 例가 宇宙飛行의 shuttle booster用 고무 seal을 加工할 경우이다. 이 超耐熱고무는 普通의 加工法으로는 成型이 不可能하다.

(2) 材料의 舉動

高分子流體의 粘度가 變形速度에 依存할 것, 따라서 Mooney粘度처럼 一點測定으로서는 材料의

物性を代表한다고 할 수 없다. 그래서 加工時의 變形速度에 알맞는 條件에서 粘度를 測定하지 않으면 안 된다는 것은 一般的으로 認識되어 있다. 그러나, 加工時의 舉動을 粘彈性的으로 理解한다는 것은 아직 限界가 있다. 이는 材料의 舉動을 定常流로서 取扱해 왔던 慣例에 얽매어 있기 때문이다.

고무의 加工은 嚴密히 말해서 非定常인 경우가 많다. 이 때 定常狀態는 物質의 舉動에 따른다는 말이며, 機械의 定常運動과는 다른 말할 것도 없다.

고무 材料의 加工時의 舉動을 가장 一般的으로 表現한다면, 粘性과 彈性은 time scale, 溫度, 壓力의 相關關係뿐만 아니라 非線型, 즉 變形(屈曲)에도 依存한다. 게다가 shear와 extension의 경우 物性이 다른 것이 많다. 특히, 充填劑가 들어 있는 것은 이 點에 注意해야 할 必要가 있다.

이와 같이 複雜한 舉動이라도 앞으로는 컴퓨터에서 取扱하게 될 것이다. 그러나, 가까운 將來에는 이 複雜한 舉動을 理解하기 쉽게 整理하여 使用하기 쉬운 近似法을 提供해야 할 것이다.

(3) 工程管理와 品質管理

고무加工은 수많은 部品을 만들어내는 것이다. 그리고, 工程管理와 品質管理의 窮極的인 目的은 製品의 zero defects를 維持하는 것이다. 從前에는 品質管理의 統計가 따라다니고 있었는데, 統計的인 潛在缺陷에 挑戰하는 것은 대단히 어려운 일이라고 생각한다.

前述한 바와 같이 고무物質의 物性이 매우 複雜할 뿐만 아니라, 構成 및 材料變數가 크기 때문에 管理가 어렵다. 그러나, 이 分野는 계속해서 發展할 것으로 보인다.

고무加工에서는 工程知識의 system化에 따라 컴퓨터를 利用한 control이 推進되어 갈 것이다.

參 考 文 獻

- 1) Hindmarch, R. S. and Gale, G. M. : *Rubber. Chem. Technol.*, **56**, 344(1983)
- 2) Johnson, P. S. : *Rubber Chem, Technol.*, Rubber reviews for 1983, **56**, 575(1983)
- 3) Harms, E. G. : *Eur. Rubber J.* **160** (5), 23 (1978)
- 4) 藤本邦彦 : 日コム協會誌, **46**, 525 (1973)
- 5) Min, K. and White, J. L. : *Rubber. Chem. Technol.*, **58**, 1024(1985)
- 6) Min, K. and White, J. L. : *Rubber. Chem. Technol.*, **60**, 361 (1987)
- 7) Brzoskowski, R. and White, J. L., Weissert, F. C., Nakajima, N. and Min, K. : *Rubber. Chem. Technol.*, **59**, 634 (1986)
- 8) Kubota, K., Brzoskowski, R.; White, J. L., Weissert, F. C., Nakajima, N. and Min, K. : *Rubber. Chem. Technol.*, **60**, 924 (1987)
- 9) Brzoskowski, R. and White, J. L. : *Intern. Polym. Process.*, II 102 (1987)
- 10) Brzoskowski, R., Kubota, K., Chung, K., White, J. L., Weissert, F. C., Nakajima, N. and Min, K. : *Intern. Polym. Process.*, I, 130 (1987)
- 11) Kong, D. C., White, J. L., Weissert, F. C. and Nakajima, N. : *Rubber. Chem. Technol.*, **60**, 140 (1987)
- 12) Isayev, A. I. and Azari, A. D. : *Rubber. Chem. Technol.*, **59**, 868 (1986)
- 13) Nakajima, N. and Harrell, E. R. : *J. Polym. Eng.*, **6**, 95 (1986)

日本コム協會誌, 1989年 3月號)