

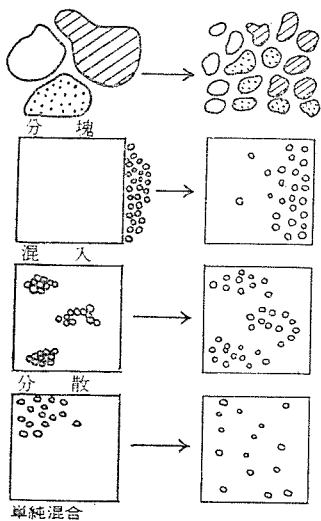
서 Banbury Mixer 驅動에 消費되는 電力과 加黃 工程에서 蒸氣의 消費가 타이어 製造工程中에서 消費되는 에너지의 大部分을 차지한다. 日本 타이어 메이커 6社의 資料에 의하면 타이어 製造業 에서의 에너지 原單位(고무 1 ton을 加工하는데 所 要된 에너지量)가 1979년에 重油 400 l, 電力 1,779 kWh이다. 이 數値는 1974年當時와 比較하면 重 油量에서 45.2%, 電力에서 15.5% 減少되었다. 즉 이와같은 結果는 타이어 메이커 各社의 에너 지 節約의 努力, 예컨대 不必要時의 전동끄기, 蒸氣의 漏出防止, 保溫 등 徹底한 熱管理를 하 였기 때문이며, 또한 混練機, 加工機 械 등의 設 備改善의 效果도 크다고 볼 수 있다.

특히 타이어 製造工程에서 總電力消費量의 50 %를 차지하는 Banbury Mixer와 總蒸氣消費量 의 80%를 消費하는 加黃機의 에너지 節約對策 은 全體에 대한 寄與度가 크므로 타이어 機械의 에너지 節約對策으로 가장 重要한 테마이다.

2. 고무混練工程에서의 에너지 節約對策

(1) 混練과 에너지의 關係

고무 混練은 먼저 고무 덩어리를 잘게 부수는 데서 시작하여 카본블랙 등 補強劑의 混入 및 配 合劑를 分散·均一化하는 것이다. Mixer는 이러 한 作業이 전부 同一機械에서 이루어지도록 되어



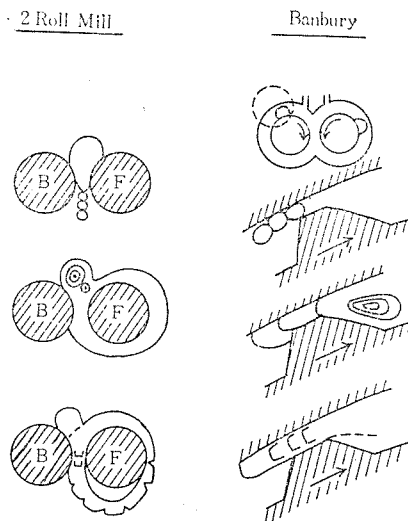
[그림 2] 고무 混練作業의 順序

있으나, 원래 이들 作業은 서로 다른 것으로 同 一한 機械에서 全作業이 이루어진다는 것은 에 너지面에서 반드시 有利하다고는 볼 수 없다. 예 컨대 덩어리를 부수는 作業이라면 回轉式 Rotor 보다는 往復運動式 Crusher가 效果의이며, 또 補 強劑의 混入에는 절구(맷돌)와 같은 機械가 알맞 은 것이다. 그러나 고무는 強粘性體로서 混練됨 에 따라 性狀이 변해지므로 萬能形이 必要한 것 이다.

또 고무에는 카본블랙과 같은 飛散되기 쉬운 補強劑를 많이 配合하므로 密封式으로 할 必要 性도 있다. 또 生産性도 重要한 要素이므로 고 무 混練에는 必然的으로 密封式混練機, 즉 Banbury Mixer가 가장 많이 使用되고 있다. Banbury Mixer에서는 적어도 4가지의 作業을 同一 機械에서 하고 있으며 그 混練作業의 原理는 매 우 複雜하므로 에너지面에서 다른 混練機와 比較 檢討한다는 것은 매우 어려운 문제이다.

(2) Banbury Mixer의 熱 輻射

지금까지 密封式混練機의 混練과 消費動力의 關係에 대해서도 많은 研究論文이 發表되고 있 는데 그 代表的인 것으로는 F.B. Guber의 論文 이다. 同研究에서는 고무 加工을 Rotor와 Casing 사이의 鎌狀(낫모양) 空間(그림 4)에서 이루어진 다고 假定하고, 原料고무 및 配合劑에 주어지는



[그림 3] Roll 과 Banbury Mixer의 混練

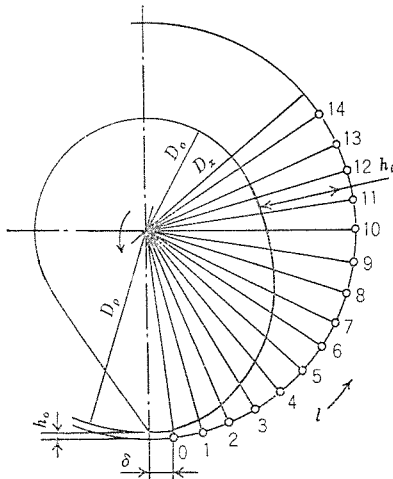
總剪斷力으로 모터 動力을 계산하고 있다. 따라서 小形 Mixer에서 大形 Mixer로 大形化할 때에 필요한 모터 動力은 算出할 수 있었으나 에너지 節約에 대해서 檢討할만한 理論式은 없었다. 그러므로 여기서는 Mixer의 熱 平衡式으로 에너지 面을 檢討해 보코자 한다.

Mixer의 熱 平衡式

$$W_1 - W_2 = W_3 + W_4 + W_5 + W_6$$

- 여기서 W_1 : 모터 動力
- W_2 : 톱니바퀴나 베어링의 熱損失 (W_1 의 10% 以下)
- W_3 : 配合고무의 溫度上昇에 消費되는 熱量
- W_4 : 冷却水에 빼긴 熱量
- W_5 : Mixer에 蓄積되는 熱量
- W_6 : Mixer로부터 放出되는 熱量

이 중에서 W_2, W_5, W_6 은 少量으로써 에너지 節約의 여지도 적으므로 W_3, W_4 에 대해서만 檢討해 보기로 한다.



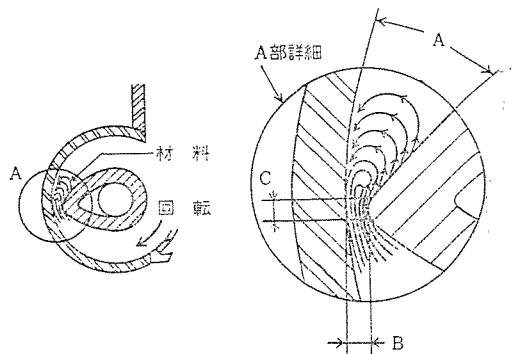
[그림 4] Rotor와 Casing 間의 鑷狀空間

(3) 混練과 原料고무의 溫度上昇

混練程度는 原料고무의 溫度上昇을 媒介變數(parameter)로 하고 있을 정도로 混練과 溫度와의 關係는 密接한 關係가 있다. 그러나 이것은 어떤 機械에 限定된 경우이며, 일반적으로는 混練과 溫度上昇과는 相互關係가 없다고 할 수 있다. 예컨대, 고무를 蒸氣나 電熱로 加熱하여도

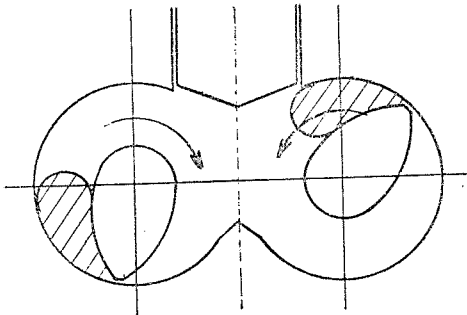
混練되지 않는 것을 생각하면 쉽게 理解할 수 있다. 지금까지의 研究結果로 보아 混練은 原料고무와 配合劑에 주어진 「總剪斷力」에 比例한다고 定義하여도 좋다. 그러므로 에너지 節約面에서는 어떻게 하면 最小의 動力으로 最大의 “變化量”을 原料 고무 및 配合劑에 줄 수 있는지가 問題이다. Banbury Mixer에서는 Rotor 날개部에 있는 鑷狀(낫모양)空間에서 原料고무 및 配合劑에 剪斷力을 주게 되므로 Rotor 形狀에 대해 많은 研究를 해왔다. 이러한 研究結果 各 原料고무 및 配合劑에 대한 最適 Rotor 斷面形狀은 實驗적으로 구할 수 있었으나 現實에 있어서는 同一機械로 많은 原料고무와 配合劑를 混練하고 있으므로 부득이 最大公約數의 形狀을 採擇하고 있다. 이들을 大別해보면 Radial 타이어用 고무配合과 같은 硬質의 타이어 配合, EPDM 配合와 같은 比較的 軟質인 一般工業用 고무配合, 파렛트狀으로 投入되는 플라스틱류 등으로 되어 있다.

이와 같이 Rotor의 斷面形狀과 混練效率關係는 밀접한 關係가 있으므로 Banbury Mixer에서는 磨耗로 인한 形狀變化를 防止하기 위하여 스테라이트, 硬質크롬 鍍金 등으로 表面硬化處理에 最善을 다하고 있다. 그러나 Mixer는 너무나 가혹한 條件으로 使用되고 있기 때문에 定期的으로 補修하여 最適形狀을 維持하는 것이 에너지 節約面에서나 品質面에서 重要하다. 다음에 또 重要한 것은 Rotor의 날개數와 配置 문제이다. 過去의 Banbury Mixer에는 보통 2날개-Rotor가 사용되었으나 數年前부터는 生産性이 높은 4날

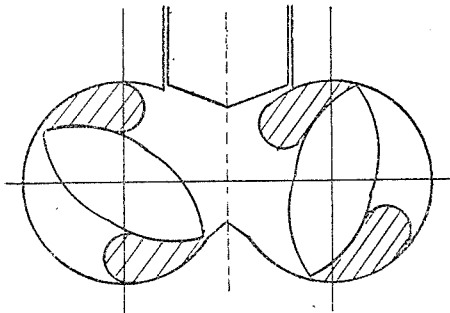


A : 들어가는 角度 B : Clearance C : 렌드幅
[그림 5] Rotor 先端部の 原料의 흐름

개-Rotor가 주로 타이어業界에 사용되기 시작하였다. 當初의 4날개-Rotor는 單純히 날개단 2個에서 4個로 增加시켰을 뿐이었으나, 그래도 混練時間이 25%나 短縮되었고 또 에너지 效率도 8%나 上昇되었다. 最近에 開發된 4날개-Rotor는 Chamber 內의 壓力이 原料고무 및 配合劑에 均一하게 걸리도록 設計되어 있으며, 에너지 效率은 중전의 2날개-Rotor에 比해 25%, 4날개-Rotor에 比해 16%로 飛躍的으로 向上되었다고 한다.



[그림 6] 2날개-Rotor

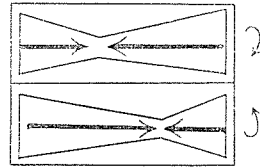


[그림 7] 4날개-Rotor

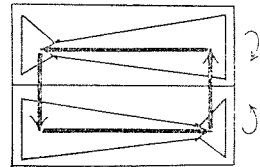
위에서 설명한 바와 같이 고무의 混練은 Rotor의 날개와 Casing 사이의 空間, 즉 날개끝에서 作用側으로 約 90° 角度的 部分에서 이루어지며 胴體나 날개 뒷面에서는 거의 일어나지 않는다. 그러나 Chamber 內에 原料고무와 配合劑가 있는이상 이들 部分에서도 에너지가 消費되지 않을 수는 없으므로 混練에 有效하게 作用하는 날개가 많을수록 에너지 效率이 높다고 볼 수 있다. 또 Rotor에 걸리는 힘의 均衡上으로 보아도 4날개가 2날개에 比하여 우수하며 Rotor에 걸리는 軸方向의 힘도 4날개-Rotor가 더 작으므로 4날개가 2날개보다 에너지 節約面에서도 有利하다.

<表 1> 素練에서의 Mooney 粘度低下效率 比較 (2날개-Rotor를 1.0로 하여 比較)

Rotor	ΔML·kg/kWh)
2날개-Rotor(2WS)	1.0
舊型 4날개-Rotor(4WS)	1.08
新型 4날개-Rotor(4WS)	1.25



[그림 8] 舊型 4날개-Rotor의 原料의 흐름



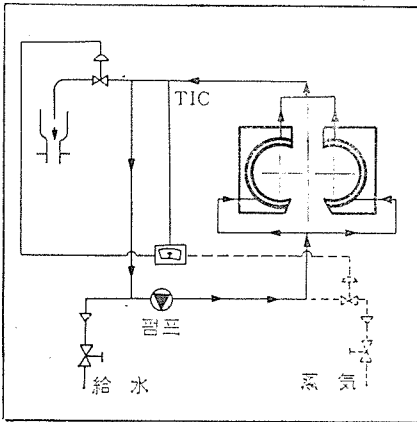
[그림 9] 新型 4날개-Rotor의 原料의 흐름

(4) 混練과 冷却(W₄)

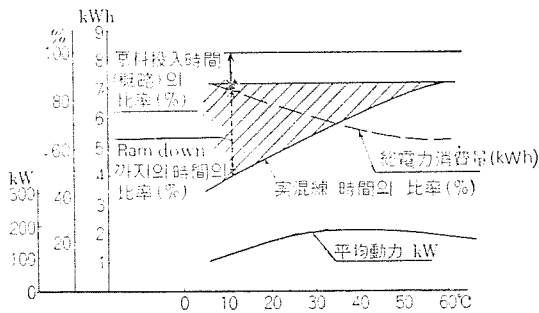
작은 動力으로 混練作業을 하는데 가장 效果的인 方法은 原料고무를 어느정도 豫熱하여 軟化시킨 다음에 投入하는 것이다. 이 方法은 原料고무의 熱傳導가 不良할 뿐만 아니라, 블록 상태로 저장되어 있는 것을 생각하면 반드시 現實的인 方法이라고는 할 수 없으나 原料고무의 溫度는 消費에너지面뿐만 아니라 混練配合고무의 品質에 크게 影響을 미치므로 充分히 檢討할만한 價値가 있는 것이다. 예컨대, 冬期에는 排熱을 利用하여 原料고무 저장실을 暖房한다는 것은 에너지, 品質面에서 큰 效果를 期待할 수 있다. Mixer 內에서는 Motor 動力은 大部分 熱에너지로 되어 고무의 溫度를 上昇시키게 되나 너무 溫度가 올라가게 되면 고무가 너무 軟化되어 剪斷力의 作用이 弱화되며 또 고무가 타게 된다. 일반적으로는 50°~80°C(機械溫度)의 그 材料에 適合한 溫度에서 混練하는 것이 가장 效率이 좋다고 한다. 그러므로 고무用 Mixer는 Rotor, Casing, drop door 등을 冷却水로 冷却시킴으로

써 tip部の 局部加熱을 防止하고 또 配合고무의 溫度가 上限을 넘지 않도록 하고 있다. 이 冷却水로 인하여 消費되는 에너지는 Motor 動力으로서 고무에 加해지는 에너지의 15~30%에 달하고 있다. 에너지 節約을 위해서는 Mixer를 冷却시키는 일이 없이 混練하는 것이 가장 바람직하나, 앞에서 説明한 바와 같이 Mixer에는 많은 作用(分塊, 混練, 分散, 均一化 등)이 있어, 이들을 모두 만족시켜야 하는 一般用型 Mixer에 있어서는 현재 상태로 보아 매우 어려운 일이다. 이 點을 改善하기 위하여 考案된 것이 冷却水溫度制御裝置이다. 이러한 裝置가 設備된 Mixer는 熱傳導가 매우 좋으며 또 大量的의 冷却水를 흐르게 하므로 短時間에 Mixer의 溫度를 變化시킬 수 있다. 그림 10은 冷却水溫度制御裝置의 系統을 表示한 것이다.

溫度制御는 Casing 및 Rotor를 별도로 하는 方法과 公通으로 하는 方法이 있으나, 最近에는 共



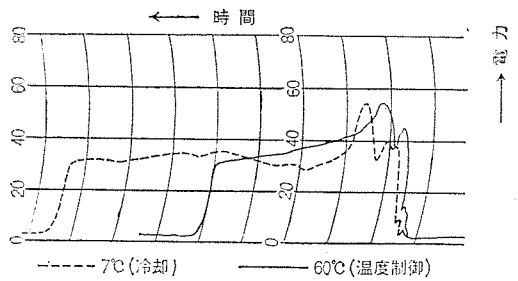
[그림 10] 冷却水溫度制御裝置의 系統



[그림 11] Mixer 溫度에 의한 影響

通된 系統으로 制御하는 것이 一般적이다. 그림 11은 冷却水溫度制御裝置로 Mixer 溫度를 段階적으로 變化시킨 경우의 Ram down time과 總電力消費量의 關係를 表示한 것이다.

이 그래프는 Mixer 溫度가 높아짐에 따라 Ram down time이 빨라져 總電力消費량이 작아지며 50°~60°C에서 最低로 된다는 것을 나타내고 있다. 그림 12는 7°C인 冷却水를 循環시킨 경우와 冷却水溫度制御裝置로 60°C로 制御시킨 경우의 電力曲線을 비교한 것인데, Cycle time은 60°C로 制御된 쪽이 37% 짧다는 것을 表示하고 있다.



[그림 12] Mixer 電力曲線

以上으로써 알 수 있는 바와 같이 冷却水溫度制御裝置를 사용하게 되면 混練時間이 短縮되고 Peak 電力을 減少시킬 수 있으므로 적어도 電力量이 10%는 節減될 수 있는 同時에 混練된 配合고무의 品質도 安定시킬 수 있다. 이와같은 點으로 보아 從前에는 Mixer는 冷却시켜 使用하는 것으로 생각해왔으나 이제는 Mixer는 冷却水溫度制御裝置로 溫度를 上昇시켜서 사용하는 것이 라는 것을 強調하고 싶다.

(5) 其他 에너지 節約對策

지금까지 Mixer의 에너지 節約對策으로 Rotor 形狀과 冷却水溫度制御裝置의 두가지 例를 들었으나, 그외에도 Floating Weight의 Air 消費量의 節減이나 補助機械의 效率의 使用方法 등이 있는데 詳細한 것은 省略한다. 또 앞으로의 課題는 무엇보다도 첫째 原料고무의 溫度를 必要以上으로 내리지 않고 어떻게 素練하고 또 카본·硫黃投入 作業 등을 하느냐 하는 문제이다. 여기서는 Batch off Machine으로 Sheet의 溫度를 적당한 溫度로 내려 바로 다음 Mixer나 Roll로 넣는

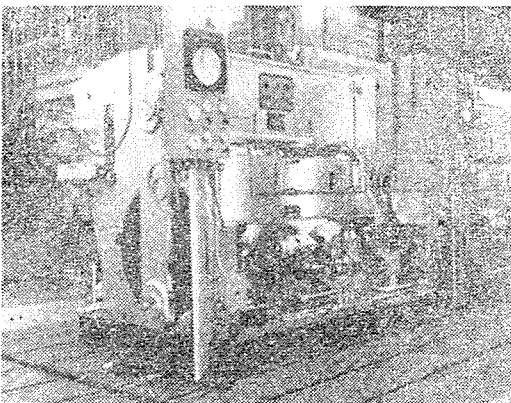
시리즈形과 同一機械로 素練에서 硫黃投入까지 回轉數, 冷却水溫度를 制御하면서 全作業을 하는 單一型을 생각할 수 있다. 이러한 方法은 Mixer의 性能向上과 混練技術의 向上으로 멀지 않아 實現될 것으로 보인다.

3. 타이어 加黃工程에서의 에너지 節約對策

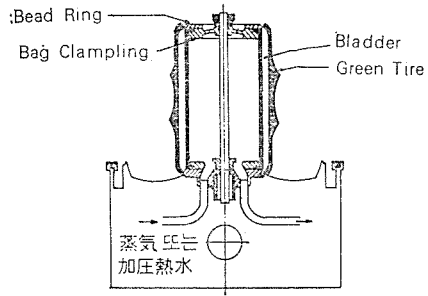
(1) 타이어 加黃機에서의 에너지 節約

타이어 加黃工程에서는 未加黃 타이어(Green tire)가 Mold 內에서 加壓·加熱됨으로써 加黃된다. 타이어 加黃은 現在 거의 全部 그림 13에 표시한 것과 같은 Bag-O-Matic 같은 自動加黃機에서 한다. 加黃機에서 Mold의 加熱에는 Steam Platen이나 또는 Steam Box가 사용되고 있다(蒸氣加熱). 한편 그림 14에 表示된 바와 같이 타이어 內側에서는 Bladder라는 고무 주머니를 통하여 蒸氣나 加壓熱水로 Green 타이어를 加壓·加熱하게 되므로 大量의 에너지가 必要하게 된다. 그런데 타이어의 加黃에 실제로 大量의 에너지가 必要한 것일까? 고무 加黃의 현상은 원래 거의 吸發熱이 없는 反應이므로 타이어 加黃에서 理論上 必要한 熱量은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Green 타이어의 質量} \times (\text{加黃溫度} - \text{처음 Green} \\ & \quad \text{타이어의 溫度}) \\ & \times \text{Green 타이어의 比熱} \end{aligned}$$

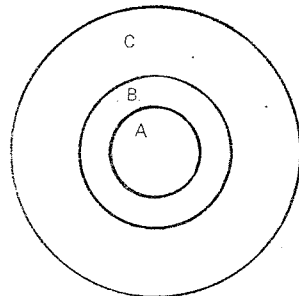


〔그림 13〕 Bag-O-Matic 乘用車 타이어用 타이어 加黃機



〔그림 14〕 타이어 加黃機의 中心機構斷面圖

實際로 타이어 加黃機에서 消費되는 熱量은 이 計算值의 20倍나 되므로 消費되는 熱量의 大部分이 有效하게 利用되지 않고 加黃機表面으로부터 放熱되든가 또는 Drain이나 蒸氣의 排出 등으로 버려지고 있는 것이다. 그러므로 타이어 加黃機의 에너지 節約은 아직도 많이 할 수 있다. 이것을 理解하기 위하여 그림 15에 타이어 加黃機에서 消費되는 熱量을 圖式的으로 表示하였다. 그림에서 範圍 C는 現在 消費되고 있는 熱量, A는 타이어 加黃에 必要한 熱量의 理論值, B는 機械의 加熱 등 最少限으로 必要한 熱量을 包含한 값을 表示한다. 따라서 타이어 加黃機의 에너지 節約對策의 課題는 이 그림에서 C를 어떻게 하여 B로 接近시키느냐 하는 것이 問題이다.



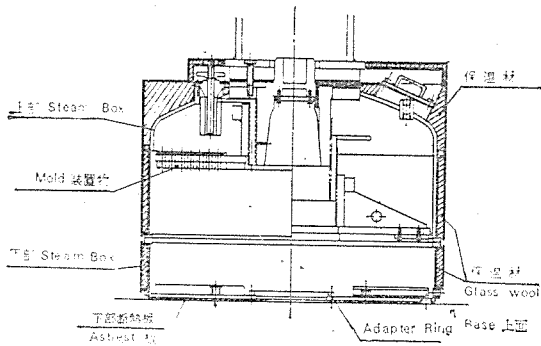
〔그림 15〕 타이어 加黃機에서 消費되는 熱量

(2) 타이어 加黃機의 保温

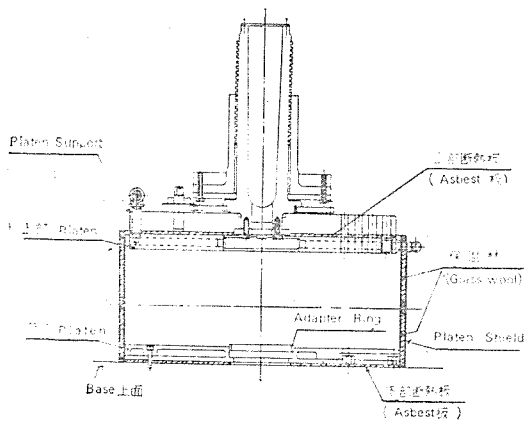
① 配管의 保温對策: 일반적으로 타이어 Press에는 蒸氣, 加壓熱水, 壓力水, 作動空氣, 制御空氣 등의 配管이 있다. 이 중에서 蒸氣와 熱水配管에 대해서는 最近에 특히 保温對策이 잘 되어 있다. Main 配管을 包含하여 한 타이어工場에서의 加黃工程의 蒸氣·熱水配管의 總面積은 큰 競

技場의 넓이와 같으므로 保温效果가 크다는 것은 말할 나위도 없다. 대부분의 경우, 配管 들레에 단순히 石綿 리본을 감는 정도가 아니라 두께 50mm 정도의 Glass-wool이나 炭酸 칼슘 등이 사용되고 있다. 現在는 配管直管部뿐만 아니라 이은 部分이나 벨브類까지도 이와같은 것으로 保温하는 등 에너지 節約에 많은 努力을 하고 있다.

② Steam Box · Steam Platen: Dome 型의 Bag-O-Matic Press의 Steam Box는 일반적으로 그림 16에 表示된 바와 같이 잘 保温되어 있다. Steam Box와 Base 사이에는 Asbest 製 斷熱板을 깔아서 加黃機本體로 流出되는 熱을 防止하고 있다. 主로 乘用車用 타이어 加黃에 使用되고 있는 Platen 型 타이어 Press의 保温은 그림 17과 같다. 下部 Platen과 Base上面, 上部 Platen과 Platen Support 사이의 斷熱板도 過去에는 10mm였으나



[그림 16] Steam Box 保温要領



[그림 17] Steam Platen 保温要領

最近에는 20mm로 되어 있다. 또 上下 Platen 들레에는 Platen Shield를 設置하고 있으나 이것은 그림 16에 表示된 바와 같이 二重構造로 內部에 斷熱材를 充填한 構造로 되어 있다. 또 이 Shield의 바깥 表面의 溫度를 50°C 以下로 하자는 要求도 있어 下部 Platen Shield가 Base上面에 直接 닿지 않도록 Shield를 Platen과 Base 사이의 斷熱板 위에 裝置하는 方法을 쓰고 있다. 이와 같이 熱 Shield와 機體와의 金屬接觸을 가급적 避하여 加黃機 自體를 통하여 放出되는 熱을 最大限으로 防止하고 있다.

위의 두 項目 이외에도 타이어 加黃機 各部, 특히 中心機構의 Cylinder 가이드나 Lift cylinder를 통하여 상당한 熱이 發散되고 있으므로 앞으로는 이 部分의 保温策이 큰 課題인 것 같다.

(3) 構造上으로 본 最近의 傾向

① Dome의 Platen化: 過去에는 타이어 加黃機의 Mold가 Steam box 內에 蒸氣를 넣는 直接加熱式으로 되어 있으나, 現在에는 乘用車用 타이어 加黃機에서는 거의 100%가 熱盤(Platen)에 의해 加熱되고 있다. 타이어 加黃이 한번씩 끝날 때마다 內部の 蒸氣를 排出해야 하는 Dome型에 比하여 항상 密閉狀態로 蒸氣를 充滿시킬 수 있는 Platen型이 에너지 節約面에서 效果가 크므로 타이어 메이커에서도 既存 Dome型 加黃機를 Platen化하려고 한다. 또 中전에 Platen 使用이 어려웠던 트럭·버스用 타이어 加黃機에서도 最近의 技術開發로 Platen型이 採用되고 있다. Platen型·大型 타이어 加黃機가 普及되면 타이어 加黃工程에서의 에너지 節約이 더 많이 될 것이다.

② 中心機構: Bag-O-Matic Press에서는 그림 14에 表示된 바와 같이 內容積이 작은 Bladder를 사용하고 있으므로 蒸氣나 熱水의 使用量이 적기 때문에 이미 에너지 節約型이라고도 할 수 있으나, Bladder 內壓과 作動水壓이 Seal을 통하여 接觸해 있으므로 Bladder 內壓의 熱이 損失되기 쉽다. 最近에는 Seal을 改善하여 熱의 流出을 最少限으로 抑制시키고 있으나 앞으로 계속 에너지를 節約하기 위해서는 타이어 加黃機의 中心機構를 改善하는 것이 重要한 課題인 것 같다.

(4) 加黃系統 및 加黃媒體

앞에서 說明한 바와 같이 加黃중인 타이어는 內部로부터 Bladder를 통하여 熱媒에 의해 加熱·加壓된다. 과거의 일반 타이어 加黃에서는 Bladder 內部에 다음과 같은 媒體가 供給되었다. 단, 壓力値는 한 例이다.

- ① Shaping用 蒸氣……타이어의 成型
- ② 14kgf/cm² 蒸氣……內部로부터의 加熱·加壓
- ③ 21~28kgf/cm² 加壓熱水
- ④ 21kgf/cm² 冷却水

그러나 冷却水の 사용으로 애써 이와같이 溫度를 上昇시킨 Bladder나 Bead Ring을 冷却시키게 되어 다음 加黃時에 또 많은 熱量이 消費되므로 最近에는 가능한 限 “冷却水를 쓰지 않는 加黃”을 採用하려 하고 있다. 타이어에 사용되고 있는 Cord 材料에 따라서는 Nylon 6 과 같은 冷却水가 必要한 경우도 있으며, 그외의 경우에도 過去에는 眞空으로 인한 內壓媒體의 吸引時間의 短縮 때문에 冷却水를 사용한 경우가 많았다. 最近 開發된 “乘用車用 Radial 타이어 專用加黃機”에서는 中心機構의 內壓配管을 크게 하는 동시에 Drain을 작게 하고 있다. 또 裝置를 改善하여 冷却水 없이도 加黃할 수 있게 하였다. 蒸氣가 配管을 통과할 때의 壓力損失이나 配管의 熱發散으로, 高壓熱水의 使用은 에너지 節約面에서 바람직하지 못하다. 그러므로 技術적으로 적용될 수 있는 경우에는 蒸氣만으로 加黃하는 方法도 採用하고 있다. 最近에 注目되고 있는 것은 타이어의 가스 加黃이다. 이것은 蒸氣로 溫度를 上昇시킨 후 보통 窒素와 炭酸가스의 混合가스를 加하여 內壓을 維持하는 方法으로 高壓熱水나 冷却水가 必要없다. 즉 타이어 加黃工程에서 에너지 節約을 많이 할 수 있으므로 앞으로 널리 普及될 것으로 보인다. 타이어 工場에서는 其他 廢熱의 回收도 積極적으로 하고 있으며, 熱水의 回收再利用은 물론, 排出된 高壓蒸氣를 回收하여 低壓蒸氣로 再利用하고 있는 例도 많다.

(5) CRI에 의한 加黃制御

CRI(Cure Rate Integrator)란 고무의 加黃溫度를 因子로 한 加黃溫度係數이다. 過去 타이어의 加黃時間은 空氣壓에 의한 出力信號를 가진 特

殊 타이머로 設定되어 있으며 이 信號에 따라 피스톤의 作動 밸브를 On-Off 함으로써 內壓媒體의 Sequence 制御를 하고 있다. 加黃이 不足한 고무는 機械的 強度가 매우 낮으므로 一般 타이어의 加黃時間은 여유있게 設定된다. CRI의 原理는 加黃中인 타이어의 實際溫度를 測定하여 그것을 基準으로 고무 加黃度를 積算함으로써 加黃時間을 制御하는 것이다. 즉 加黃의 進전 상황을 체크하면서 時間制御를 하므로 加黃時間에 여유를 둘 必要가 없다. 過去의 타이머 制御에 比하여 다음과 같이 加黃時間이 短縮될 것으로 期待된다.

- 乘用車用 타이어……………5~10%
- 트럭·버스用 타이어………10~20%
- 大型 OTR 用 타이어………20% 以上

다음에는 CRI의 原理를 간단히 說明하고자 한다. 化學反應에 있어서의 Arrhenius의 式은 고무 加黃反應에도 適用되므로 타이어內 고무溫度 T°K에서의 R(T)는 式(1)과 같이 表示된다.

$$R(T) = A \cdot e^{-E/RT} \dots\dots\dots(1)$$

단, A : 常數 R : 氣體常數
E : 고무性質에 따른 活性化 에너지

타이어 加黃에서 基準溫度를 T₀라 하고 溫度 T 일 때의 加黃狀態와의 比를 r(cure rate)라 하면

$$r = A \cdot e^{-E/RT} / A \cdot e^{-E/RT_0} = e^{E/R(1/T_0 - 1/T)} \dots\dots\dots(2)$$

加黃狀態를 制御하기 위해서는 이 Cure rate r 를 時間 t로 積分하여 加黃等價 CE를 구한다.

$$CE = \int_0^t r dt = \int_0^t e^{E/R(1/T_0 - 1/T(t))} dt \dots\dots(3)$$

실제로 타이어를 加黃하는 경우에는 고무 Compound에 對應하는 活性化 에너지를 구하면 必要한 加黃等價를 알 수 있으므로 式(3)의 CE가 필요한 加黃等價에 어느 정도 여유를 플러스한 값에 達한 時點에서 加黃을 完了시킨다. CRI에서는 直接計算이 아니라 Thermostat 特性을 利用하여 CE를 구하고 있다. 또 타이어의 加黃溫度는 일반적으로 타이어內에서 가장 加黃이 늦은 部分을 測定하고 있다. 여하튼 CRI를 사용하여 加黃時間을 合理的으로 設定할 수 있으므로 加黃時間의 短縮으로 에너지 節約을 더욱 많이 할 수 있다. (日本ゴム協會誌, 80. 9)