

配合技術과 에너지 保存

P.S. Johnson
Polysar Limited (Canada)

協會 李 源 善 譯

配合技術자들이 最適의 고무加工機械에서 最適의 配合劑를 使用하여 最適의 加工條件에서 作業을 함으로써 加工 에너지를 節約할 수 있는 方法들을 紹介하여 에너지 保存計劃樹立業務에 도움을 주고자 한다.

1. 序 論

最近 몇年 동안 고무 混合技術에 對하여 몇가지 괘목할만한 發展이 있었다. 이렇게 發展된 混合技術을 잘 理解하고 實際로 應用함으로써 大部分의 混合作業을 能率의이고 經濟的으로 할 수 있다. 混合作業에서 最適效率을 올리기 爲해서는 세 가지의 重要한 要素가 있다는 것을 알아야 된다.

첫째 要素는 많은 研究를 하고 商業的으로도 發展시킨 重合의 基礎科學, 고무의 物理學, 加黃 등이다⁽¹⁾. 고무 生産業者들은 新用途開發을 爲하여 꾸준히 高무를 블렌딩(blending)하거나 配合의 調整, 改善 등 配合開發에 努力하고 있으나 根本的으로 有用한 性質을 갖는 새로운 高무를 開發할 수 있는 確率は 極히 적다.

두번째 要素는 고무産業은 一般的으로 利潤이 적으므로 原價節減을 하기 爲하여는 現在보다도 더 自動化할 수 있는지, 폐기물을 줄일 수 있는지, 混合時間을 短縮할 수 있는지, 2段階 混合工程을 1段階 混合工程으로 變更할 수 있는지 등에 對하여 관심을 가져야 된다는 것이다.

세번째 要素로는 에너지 價格과 에너지 不足

이다. 이러한 에너지 價格引上과 不足에 對處하기 爲하여는 配合技術者들은 混合作業에서 에너지를 保存할 수 있는 方法을 提示하여야 된다.

세 가지의 燃料, 石炭·石油·天然가스는 美國의 産業化가 美國의 大陸에서 始作한 이후부터 主要한 에너지 源이 되어 왔으며 또한 이 세 종류의 燃料은 고무, 플라스틱, 카본블랙 등의 原料인 炭化水素의 主要源이다. 그러므로 에너지를 節約한다는 것은, 즉 原料를 保存하는 것이다.

EEC와의 契約으로 炭化水素와 같은 原料를 生産하는 데 所要된 關聯 에너지에 對한 Schaefer 와 Waston의 RAPRA⁽²⁾ 研究報告에 依하면 고무는 다른 原料보다 에너지 含有量이 많을 뿐만 아니라 고무製品을 만들기 위해서는 더 많은 에너지가 所要된다는 것이다.

1972년까지는 고무産業에 있어서는 에너지 消費를 줄여야 된다는 어떤 자극이 없었기 때문에 에너지 價格이 낮았었다. 그러나 그후부터 國內 消費者뿐만 아니라 모든 産業分野에서 效果的인 에너지 消費를 하기 始作하였다. 그러나 不幸하게도 效率的인 에너지 消費에도 不拘하고 에너지 價格은 反對現象으로 더 많이 上昇하였고 또 한 앞으로도 계속하여 에너지 價格은 上昇할 것으로 보인다.

() 内の 番號는 參考文獻의 No를 意味함.

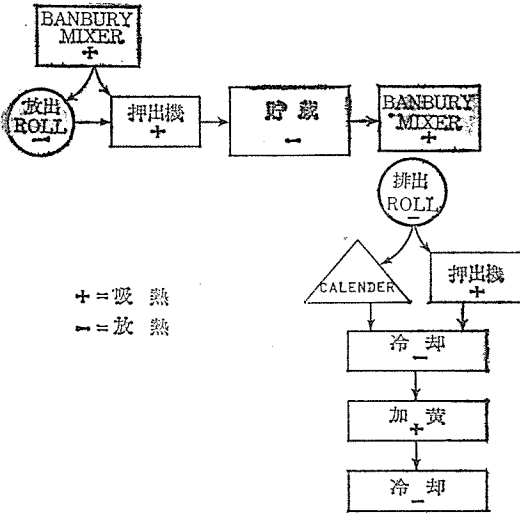
Monomer부터 最終製品까지의 工程圖

年度別	主 研 究 方 向
1900~1925	고무 概念의 展開
1925~1950	고무 化學(組織 및 性質)
1950~1975	加工 化學 및 고무 物理學
1975~2000	加工, 生産工學 및 物理學

重合化學	配合 및 加黃	加 工
		(混合, 歷延 등)
	化學 및 物理學	物理學
		Rheology
		工 學
		經濟學

2. 고무工業에서의 에너지 使用

正常的인 고무 工場에서 原料고무에서 最終製品을 製造하는 工程을 보면 그림 1에서 보는 바와 같이 에너지(熱)의 순환 回數가 많은 것을 보고 놀라지 않을 수 없을 것이다.



[그림 1] 고무加工工程에서의 熱循環(加熱—冷却)

各作業工程에서 이러한 에너지 순환 回數를 감소시킨다는 것은 직접 加工作業을 하는 사람들에게는 매우 有益한 일이나, 단지 經濟的인 面만 考慮해서 그 工程을 變更할 수는 없는 것이다. 實質的인 技術이 活用되지 않으면 안 된다. 과거에는 고무의 化學構造를 가장 重點的으로 研究하였지만 다음 工程圖에서 보는 바와 같이 우리가 앞으로 觀心을 가지고 集中的으로 研究할 分野는 物理學, Rheology, 工學 및 經濟學 등이다.

우리들은 混合工程에서 어떻게 하면 에너지를 節約할 수 있을까? 제일 중요한 것은 에너지

(加工工程을 分析함으로써 에너지를 節約할 수 있다) 지 節約은 단지 配合技術者 또는 고무化學技術者만의 責任이 아니라는 것을 알아야 되겠다.

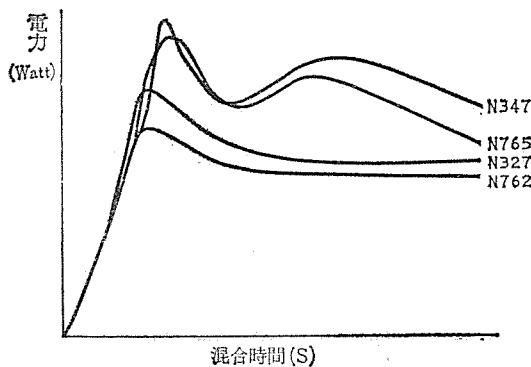
에너지 節約은 會社의 經營方針으로 採擇되어야 하며 工場長을 위시하여 部課長, 관계 職員으로 Team을 構成하여야 된다. 構成員들은 그림 1에서 보는 바와 같이 典型的인 製造工程圖를 再調査分析하여야 된다. 各工程에서 에너지를 保存하기 위해서는 可能的인 限 作業工程을 줄여야만 한다. 이러한 概念을 가지고 Banbury mixer에서의 混合工程에 對하여 重點的으로 考察해 보자 한다. 그러나 여기에 應用하는 原則과 問題解決方法은 모든 各 工程에서도 應用될 수 있다. 단지 電力使用量(kwh)을 減少시킨다는 것만이 重要的인 것이 아니라는 것을 알아야 되며 또 peak 電力과 瞬間電力을 減少시키는 것은 根本的으로 同一한 것이다. 電力會社들은 電力使用量(kwh)뿐만 아니라 peak 電力에 따라 電氣料金を 決定하고 있다. 왜냐하면 發電容量과 供給容量(supply grid)이 peak 電力(power surge)과 對等하여야 되기 때문이다. 契約 peak 電力보다 더 많이 peak 電力이 올라가는 경우에는 엄한 罰을 받게 된다. 正常的인 混合時에는 配合藥品이 分散時에 가장 電力이 많이 所要된다. Banbury mixer에서 모든 配合藥品을 넣고 다음에 고무를 넣는 逆混合法(upside down mix)에서는 Ram을 내릴 때 최초의 예리한 peak를 나타내고 補強劑가 分散되면서 두번째 完만한 peak를 나타내면서 均一한 分散이 된다. 두번째의 完만한 peak를 카본 블랙 分散時間(Black Incorporation Time: BIT)이라고 말하며 이 BIT는 각본 블랙의 分散程度를 나타내는 指數로 使用되어 왔다.

Banbury mixer에서 에너지를 保存하는 方法으로서는 ① 配合藥品, ② 加工條件, ③ 機械 등

에 대하여 檢討하지 않으면 안 된다.

3. 配合藥品

最近의 技術資料에 依하면 特殊고무나 Bale 形態가 아닌 고무에 對하여 많은 觀心을 갖게 되었으며 이러한 고무들이 에너지를 保存할 수 있다고 主張하고 있다. 例를 들면 3號 Banbury mixer에서 고무를 30等分으로 切斷하여 逆混合法으로 混合함으로써 混合時間을 10~15% 短縮할 수 있으며, 또한 peak 電力과 電力使用量을 減少시킬 수 있다는 것이 “Powdered Rubber”⁽⁴⁾에 報告되어 있다. 또한 11號 Banbury mixer에서도 同一한 結果를 얻을 수 있었다. 또 NBR 고무 配合時 고무를 10等分으로 切斷하여 逆混合法으로 混合함으로써 peak 電力을 10% 減少시킬 수 있다. 만약 Banbury mixer에서 粉末形態의 고무를 使用한다면 더많은 에너지를 節約할 수가 있다. 粉末고무를 使用함으로써 混合時間을 短縮할 수가 있고⁽⁴⁾ 또한 경우에 따라서는 2段階 混合을 1段階 混合으로 할 수도 있다. 그러나 粉末고무를 使用하면 peak 電力이 올라간다는 것이 報告되어 있다. 그리고 實際로 粉



[그림 2] 카본 블랙의 構造 및 表面積이 電力에 미치는 影響

카본 블랙 종 류	構 造	表 面 積
	dm ³ /kg	hm ² /kg
N 347	1.25	9.6
N 765	1.12	3.2
N 327	0.55	9.6
N 762	0.65	2.9

末고무 生産에는 많은 電力이 所要되므로 고무 工業에서는 粉末고무의 使用이 보편화되어 있지 않다.⁽⁶⁾ 그러므로 粉末고무의 價格이 Bale 고무의 價格보다 10cent/lb나 高價이다. 두번째로 重要한 配合藥品은 카본 블랙이다. 카본 블랙의 種類와 配合量은 peak 電力과 電力使用量에 큰 影響을 미친다. 카본 블랙에서는 카본 블랙의 構造 및 表面積이 主要한 特性이며 이 特性은 카본 블랙의 標準試驗에 依하여 決定된다. Dizon⁽⁶⁾은 이 카본 블랙의 構造 및 表面積이 電力에 미치는 影響에 對하여 그림 2에 表示하였다.

N347 N735와 같은 高構造 카본 블랙이 低構造 카본 블랙보다 混合時 peak 電力이 높고 에너지 消費도 많다. 高構造 카본 블랙 중에도 表面積이 큰 것과 작은 것을 比較하면 表面積이 작은 N 765가 表面積이 큰 N 375보다 에너지 消費도 적고 混合도 빨리 되며 短時間에 두번째 peak가 나타난다. 이와 같이 高構造 表面積이 큰 카본 블랙을 使用하면 最終需要자들이 願하는 最高의 品質을 保證할 수는 있으나 에너지 消費가 最大로 된다는 것을 반드시 알아야 된다. 最適品質의 製品을 製造하기 위하여는 高構造 카본 블랙과 表面積이 작은 카본 블랙을 블렌딩하는 것도 有用한 것이다. 混合中 에너지를 節約할 수 있는 配合劑가 있다. 이 藥品을 1~2 phr 追加配合함으로써 2段階 混合에서 混合時間을 短縮할 수 있고 Scrap도 줄일 수 있다. 石油로부터 제조하지 않는 또 다른 代置補強劑(例, White Carbon 등)로 代置할 수도 있지만 이 代置補強劑에 對해서는 現在까지도 補強現象에 對하여 完全한 理解를 하지 못하고 있는 實情이다.

4. 加工條件

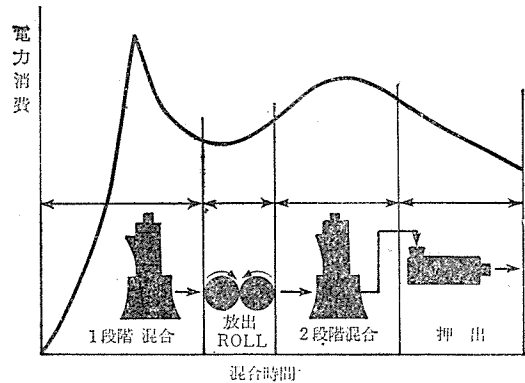
加工條件에서 가장 重要한 것은 生産성과 關係가 있는 Batch量이며 또한 Batch量을 最適으로 하는 것도 重要한 일이다. 一般적으로 Banbury mixer에서 Batch量을 많게 하면 生産성은 向上되지만 製品의 品質은 低下된다. 또한 混合效率도 低下되며 願하는 分散度を 얻으려면 에너지 消費도 增加하게 된다. Banbury mixer에서 처음 混合作業時에는 순환 冷却水의 溫度에 따라

變化하는 Banbury mixer의 溫度(Rotor 또는 Chamber 溫度)가 混合效率에 큰 영향을 미친다.

各種 고무에 對하여 Banbury mixer의 溫度를 最適으로 한다는 것은 熱效率를 向上시키는 것이다. Ellwood⁽⁸⁾는 溫度에 따른 고무 Banbury mixer의 磨擦係數를 Banbury mixer의 溫度로서 變化시킬 수 있다고 主張하고 있다. 磨擦係數가 클수록 고무와 Banbury mixer의 Chamber內에서 Rotor 등과 接觸面積이 커지므로 冷却이 잘 되어야 한다. 例로서 NBR 고무를 磨擦係數는 溫度의 上昇에 따라 커진다는 것을 알 수 있었다. 이러한 커브는 단지 磨擦의 영향뿐만은 아니고 接觸面에서의 미끄럼 應力(slip stress)의 영향도 있다. 이러한 複雜한 問題에 對해서는 Funt⁽⁹⁾가 研究하였으며, Funt는 이런 현상을 混合 또는 分散(Interaction)이라는 말보다는 接着(Adhesion)이라는 말로 表現하는 것이 더 좋을 것이라고 말하고 있다. 이런 現象을 어떻게 物理的으로 正確하게 表現하든지간에 實驗의으로는 어떤 關係가 있는 것 같으며 또 Farrel의 資料⁽³⁾에서는 peak 電力과 電力使用量은 冷却水의 溫度調節으로써 감소시킬 수 있다고 主張하고 있다. 또한 混合時間을 短縮할 수 있고 Batch量을 올릴 수 있으며, Rotor, Chamber 金屬의 熱應力도 減少시킬 수 있는 長點이 있다. 우리들의 業務中의 하나는 이러한 概念을 試驗用 Banbury mixer에서 證明하는 일이다. 우리들은 Banbury mixer에서 NBR을 逆混合法으로 混合할 때 冷却水의 溫度에 따른 에너지 消費를 調査하였다. Banbury mixer의 溫度變化에 따른 電力 커브 變化를 보면 電力消費量 BIT가 Banbury mixer 溫度의 影響을 제일 많이 받는다. 또한 藥品과 補強劑를 投入한 후 고무를 投入하는 逆混合法으로 混合하게 되면 어떠한 경우에는 1段階混合도 可能하다. 그러나 逆混合法으로 混合하는데도 問題가 있다는 것을 잊어서는 안 된다. Topcik⁽¹⁰⁾은 어떻게 逆混合法을 調整應用하느냐 하는 技術에 따라 投入 에너지를 10~20%, peak 電力을 20~30% 節減할 수 있고, 경우에 따라서는 2段階混合을 1段階混合으로 할 수도 있다고 主張하고 있다. 特殊配合時에는 現在까지 하고 있는 습관적인 藥品投入順序(고무를 投入하고 藥品 및 補強劑投入)가 最適인지 아닌지를 檢討할 必要가 있

다. Banbury mixer에서 混合고무의 放出溫度는 에너지 消費에 큰 영향을 미친다. 最近의 資料에 依하면^(11~14) 電力을 調整하면서 混合을 하고 있다는 報告도 있다. 이 資料에 依하면 一般의인 時間 및 溫度調整混合方法에 比하여 15%程度 에너지를 節減할 수 있다고 한다. 電力使用量(kwh)과 peak 電力(kw)의 두 가지를 綜合하여 分析·評價하여 보면 에너지 保存計劃에 必要한 參考資料를 얻을 수 있으며 또한 어떤 工程變更에 따른 에너지 使用의 影響을 調査評價하는 데 도움이 될 것이다. 또 이것으로 品質管理目的을 위한 恒久的인 資料를 얻을 수도 있다.

이러한 綜合評價過程의 實際的인 應用은 Dizon과 Papazian⁽¹⁴⁾이 發表하였다. Batch에 投入된 總에너지는 Banbury mixer, Roll, 押出機의 組合으로부터 알아낼 수가 있다(그림 3). 이러한 工程單位는 所要生産을 達成하는 效果面에서는 다르다. 우리가 願하는 品質의 製品을 製造하기 爲하여 所要되는 總에너지의인 見地에서 가장 效率的인 機械에 混合 에너지를 割當함으로써 合理的으로 生産性이나 品質을 最適化할 수 있다.



(그림 3) 各工程 單位別 에너지 消費(時間·에너지 割當)

各工程單位마다 그 工程을 最適化하는 데 도움을 주기 爲하여 作業標準을 만들었다. 이러한 作業標準은 一定한 總에너지를 投入할 경우에 各工程單位의 生産性을 推定하는 데 利用할 수 있다. 이러한 研究는 試驗用 Banbury mixer, Roll, 押出機 등에서 畚畚속적인 作業에서 證明되었으며 또한 押出機는 全體의 生産性을 決定하는 데 基準이 된다.

5. 機 械(Banbury mixer)

Banbury mixer에서 考慮하여야 할 事項은 冷却水の 流速이다. 이것은 위에서 檢討한 冷却水の 溫度와는 別個問題이다. 化學工學의 基礎熱力學法則이 包含된다. 冷却水の 流速을 빠르게 함으로써 投入 에너지에서 放出溫度를 18°F 低下시킬 수 있다. 이것은 때로는 1段階混合에서 加黃劑를 投入할 수 있다는 것을 의미하며, 또한 低溫에서 粘度가 높은 것을 混合할 수 있다는 것은 一定한 Banbury mixer, 一定한 Rotor 回轉速度에서 전단 應력이 높은 狀態에서 混合된다는 것을 意味한다. 그리고 이것은 混合作業의 分散에 가장 重要한 것이며 또한 短時間에 混合할 수 있다는 것으로서, 이것은 에너지를 節約하는 것이다. 冷却水の 流速과 入出의 溫度差(ΔT)를 點檢할 必要가 있다. 必要에 따라서는 熱交換施設과 冷却施設을 酸處理로 洗淨하여야 된다.

混合作業을 最適化하는 데는 機械에 對한 많은 變數를 考慮하여야 된다.

Banbury mixer의 Ram 作動에 전력을 많이 使用하면 값비싼 peak 전력을 防止할 수 있고 Power factor를 最大로 하는 것은 動力費를 節減할 수 있는 것이다. 定期的으로 Banbury mixer의 Rotor와 Chamber 벽과의 間隔을 測定하는 것은 磨耗가 많이 되어 있지 않고 또 充分한 전단 應력으로 混合作業을 할 수 있다는 것을 證明하기 爲하여서도 유익한 일이다.

6. 結 論

위에서 說明한 바와 같이 最適의 加工機械에서 最適의 配合劑를 使用하여 最適의 加工條件에서 作業을 함으로써 에너지를 節約할 수 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 Idea 全部가 어떤 特定한 作業에만 應用된다는 것은 아니고 우리들 各者가 에너지 節約을 하기 위해서는 어떻게 할 것인가에 對하여 항상 생각하지 않으면 안된다. 美國의 에너지 價格의 展望을 볼 때 우리들이 에너지 節約을 어떻게 할 것인가를 심중히 생각하게 되며 또한 價格問題가 심각하게 되기

前에 미리 分析, 檢討하여 對策을 樹立하여야만 되겠다. 原料를 供給하는 사람, 加工하는 사람, 機械를 만드는 사람 우리 모두가 에너지 效率을 向上시키는 데 努力해야 되며 또한 原料고무로 製品을 製造하는 모든 工程에서 에너지 節約에 努力하지 않으면 안 된다. 또 다른 製品과 競爭하기 위하여 協同研究를 하는 것도 우리들 相互間의 利益이 되는 것이다. (Elastomerics, '79. 2.)

參 考 文 獻

- (1) W.F. Watson—J. Inst. Rubber Ind., 106 June 1974
- (2) Schaefer and Watson—E.E.C. Contract Report 145-174—ECIC RAPRA Publications, 1975
- (3) F. Borzenski—Influences of Higher Energy Costs on Rubber Mixing—Farrel Corp. Publication 1976
- (4) Powdered Rubbers—Conference of the Plastics and Rubbers Institute, Southampton University, April 1978
- (5) J.Walker, Z.J. Lobos, P.S. Johnson—Particulate Rubber—Past, Present and Possible Future. New York/Philadelphia Rubber Groups, New Brunswick, N.J. April 1976
- (6) E.S. Dizon—Rubber Chem. Technol. 49 12, 1976
- (7) D.C. Edwards and K. Sato—Nitrile Rubber Functionalized for Silica Reinforcement Paper #6 114th Meeting ACS Rubber Division, Boston October 1978 (to be published in Rubber Chem. Technol.)
- (8) H. Ellwood—European Rubber J. Jan/Feb 1977
- (9) J.Funt—Mixing of Rubbers RAPRA Publications 1977
- (10) B. Topcik—Rubber Age, 105, 25, 1973
- (11) G.E. O'Connor and J.B. Putman—Rubber Chem. Technol. 51, 799, 1978
- (12) R.J. Onnfer—Rubber Age, 51, August 1966
- (13) P.R. Van Buskirk, S.B. Turetsky and P.F. Gunberg—Rubber Chem. Technol. 48 577, 1975
- (14) E.S. Dizon and L.A. Papazian—Rubber Chem. Technol. 50, 765, 1977