

# 電流形 인버터를 이용한 誘導加熱器의 始動方式

A Study on the Starting Methods of CSI Type Induction Heater

奇 宇 奉\*  
Ki, Woo Bong  
車 得 根\*\*  
Cha, Duk Guen

## 1. 序 論

誘導加熱의 基本原理<sup>1)</sup>는 電磁氣學에 설명되어 있는 Faraday의 電磁誘導現象에 있으며, 이 理論이 발표(1831年)된 이후 160年을 경과한 오늘에 이르고 있다. 그동안 불꽃 發振回路, 中周波 單相電動發振機, 工業用 電子管回路, 半導體(thyristor)素子和 回路, 耐熱耐火物, 自動制御回路, 高性能 computer와 computer 利用 數值計算理論 및 電磁界, 熱界解析쪽으로의 適用 技術發電에 따라 誘導加熱도 변화를 가져왔다. 이러한 技術의 發展은 그 發展을 재촉하는 경제적 기반이 뒷받침 되고 있다.

誘導加熱 그 자체의 技術과 相應하여, 電氣 에너지 單價, 電力供給度, 生産規模, 生産品目の 品質과 그 신뢰도, 生産性, 合理化등의 요구 레벨 변화에 추종하여 실용화가 촉진되어 왔다.

日本の 경우 第2次 世界大戰 이후 경제회복을 향해 再發進하여 纖維, 石炭, 石油, 鐵鋼, 自動車와 家電製品 및 電子機器 公업이 경제기반 향상의 추진역을 맡아왔으며 그중에서 誘導加熱의 發展을 재촉하는 추진역을 맡은 것은 鐵鋼, 自動車, 半導體 製造業의 발전에 영향을 받은 바가 크다.

誘導加熱에 이용되어지는 周波數變換裝置로서 半導體(thyristor, MOS FET, power transistor, IGBT, SIT 등) inverter<sup>2, 3)</sup>가 본격적으로 등장하기 시작한 것은 1960年代 후반이라 볼 수 있다. 우리나라에서는 1970年代 중반이후나 1980年代 초기에 基盤을 이루어가기 시작했다고 볼 수 있으며, 現在에 있어 대부분의 周波數變換裝置는 電力用半導體素子(power semiconductor element)를 이용한 電壓形인버터<sup>4)</sup>를 많이 사용해왔다.

本 研究에서는 電流形인버터(CSI: Current Source Inverter)<sup>5)</sup>를 이용한 誘導加熱器의 始動方式의 종류와 復合 始動方式을 채택한 경우의 特性을 考察해 보고자 한다.

## 2. 인버터의 始動方法

誘導加熱器의 竝列補償負荷의 인버터 回路(그림 1)는 선택된 周波數에서 thyristor를 點弧 하더라도 간단하게는 始動되지 않는다. 왜냐하면 이것은 초기에 竝列補償된 負荷回路가 充電되어 있지 않았기 때문이다. 즉, 始動點에서 轉流(commutation)을 수행하기 위해 capacitor에 나타나는 電壓이 不充分하기 때문이다.

이 形의 인버터를 始動하기 위한 여러가지

\* 發送配電技術士. 韓國産業서비스(株) 代表理事  
\*\* 電氣機器技術士. 東義大 工大電氣工學科 副教授

알려진 방법들은 다음과 같이 要約할 수 있다.

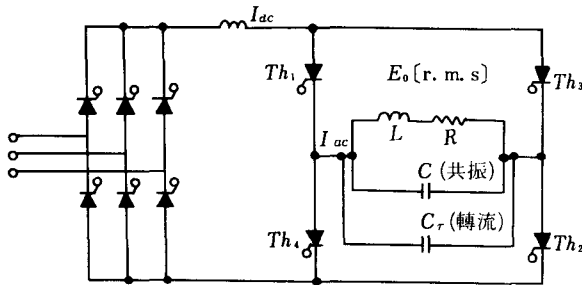


그림 1. 並列補償負荷回路

1. 初期에 負荷 capacitor는 補助電源에 의해 미리 充電되며, 기계적으로 work coil과 직접 연결 되어있지 않은 상태로 있다가 기계적인 스위치가 닫히지므로해서 갑작스럽게 發振이 일어나고, 그후 인버터는 始動되어진다.  
이 방법은 한개의 기계적인 스위치가 필요하고, 共振 回路의 全負荷 循環電流를 흘려야 된다는 缺點이 있다. 또한, 스위치의 접촉부분에 大電流 開閉에 의한 損傷이 발생하므로 일반적으로 非實用的이다.
2. 1方法과 다른 한가지 方法은 어떤 전류값으로 work coil을 미리 充電하고난후 遮斷하여 負荷回路에 갑작스런 發振이 일어나도록 하는것이다.  
이 방법은 실행 가능한 방법이나 실제적으로 缺陷을 갖고 있다. 그것은 負荷와 인버터 사이에 접속 되어있는 필요없는 인덕턴스에 기인한 어려움들을 미연에 방지하기 위한 문제점과 負荷에 補助 始動裝置를 갖추어야 한다는 점이다.
3. thyristor, inductor, capacitor를 이용한 하나의 補助的인 始動回路가 並列補償 負荷回路를 共振的으로 充電시키기 위하여 사용되어지는 방법으로 이 回路를 pony inverter 回路라 한다. 그리고, 이 pony inverter 回路의 사용은 부하양단에 나타나는

共振電壓을 발생하기 위한 것이다.

이 방법은 어떠한 경우에 있어서 부하조건 의 모든 범위에서 쉽게 적용되어지는 것은 아니다.

이와같이 多目的 inverter나 어떤 可變周波數 범위에 대해서는 使用에 있어 兪중히 고려되어져야 한다.

4. 평활용 인덕터는 기본적으로 한개의 抵抗과 스위치(機械的-스위치는 電力用 半導體素子)로 구성된 補助 始動回路를 통하여 直流 入力電源으로부터 어느 정도의 電流값으로 미리 充電되어져야 한다. 이때 始動電流는 主inverter의 thyristor를 경유하여 負荷回路쪽으로 傳達되어진다.

그 결과 電流는 負荷共振回路에 흡수되어지고, 인버터의 始動을 가능하게 하는 方法이다. 上記 方法중에서 몇가지 例를 나타내면 다음과 같은 方式들이 있다.

#### 2.1 補助 thyristor 方式<sup>1)</sup>

補助 thyristor 方式의 한 例를 그림 2에 나타냈다.

이 始動回路는 2개의 補助 thyristor 5, 6 그리고 抵抗 R과 capacitor Cst로 구성되어 있고, 그것의 定格과 크기는 실질적으로 主인버터用 thyristor 용량보다 작다.

기본적인 개념은 power 回路를 동작시키는 것인데, 始動點에서 처음 몇 cycle 동안은 thyristor 1과 4가 消弧 되어있고, thyristor 2와 5, 그리고 3과 6이 교대로 點弧 되어진다.

이 동작 mode에 있어서 直列로 접속된 capacitor Cst는 始動 週期동안 흐르는 電流에 대해 충분한 轉流(commutation)능력을 제공한다.

그 이후 충분한 에너지가 並列補償 負荷回路에 전달되어졌을 때, 始動回路는 自動的으로 電流되어 동작을 마치게 되고, 主 inverter用 thyristor 1과 2, 그리고 3과 4가 교대로 點弧 되어진다.

그림 2. 始動回路的 動作波形은 그림 3과 같다.

2.2 補助 thyristor 方式<sup>2)</sup>

그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 直·並列補償負荷를 갖는 電流形 inverter는 기대할 수

있는 높은 周波數 범위까지 inverter의 始動을 매우 쉽게 할 수 있으며, 또한 直列 capacitor  $C_s$ 는 負荷電壓의 振幅크기에 관계없이 轉流能力을 제공해 준다. 이점은 어떠한 負荷 電壓 振幅에서도 全負荷電流에서 轉流할 수 있는 능력을 줄 수 있다는 것이다. 이 시스템의 다소

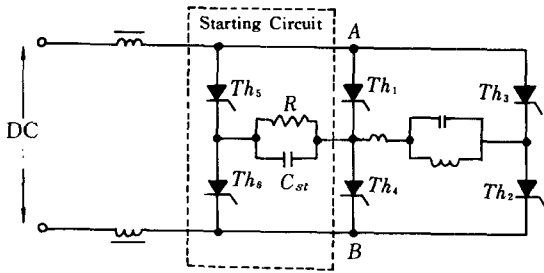


그림 2. 並列補償된 인버터 回路를 위한 始動回路

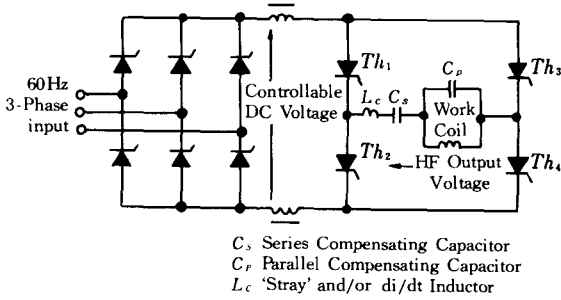


그림 4. 直·並列補償 負荷를 갖는 電流形 인버터의 기본 回路圖

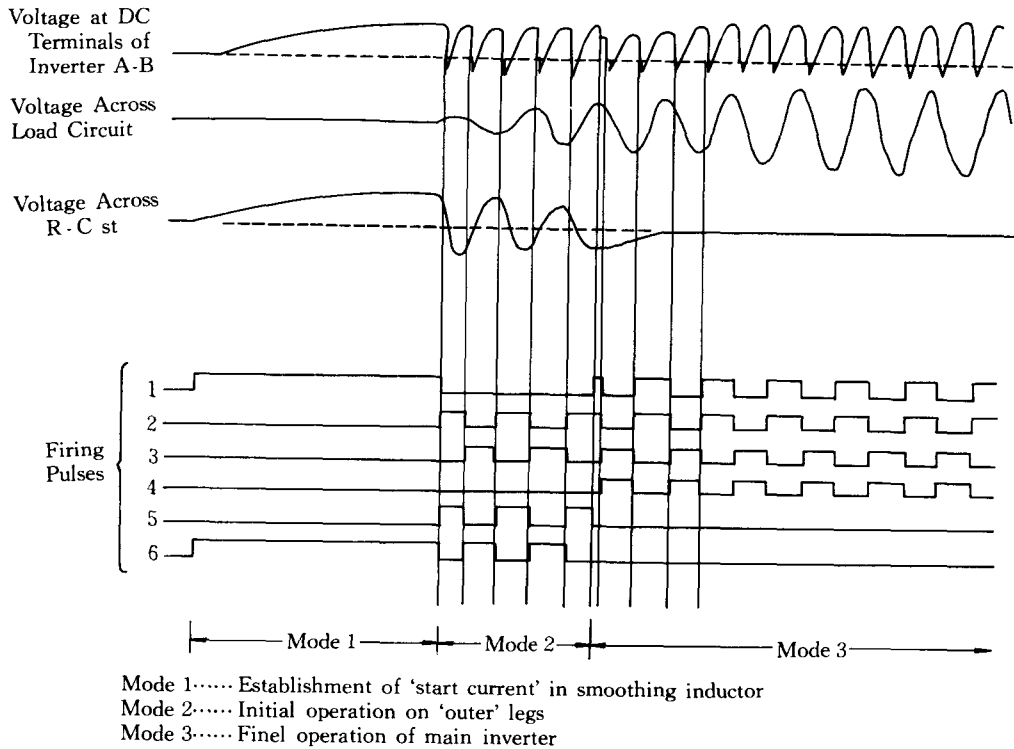


그림 3. 始動回路的 動作波形

불리한 점은 어느 동작 주파수 범위에서 한개의 고정된 직렬 정전용량 값을 갖는다는 것이다.

대표적인 회로는 그림 4에 나타냈으며, 周波數 3.3 KHz, 2.3KHz에서의 이론적인 動作波形은 그림 5에 나타냈다.

그림 4의 회로를 이용하여 始動할 경우 그림 1에 나타낸 기본적인 竝列補償負荷를 始動하는 것보다 훨씬 쉽게 해준다. 왜냐하면, 직렬 capacitor는 轉流를 위한 충분한 電壓을 제공하는 능력을 갖고 있기 때문이다. 그림 6에 나타낸 간단한 始動回路는 신뢰할 수 있는 회로라 할 수 있으며, 그림 7은 始動하는 동안 理論的인 動作波形을 나타낸다. inverter가 始動되기 앞서 補助 thyristor 5가 단 한번 點弧되어지고, 平滑用 인덕터와 抵抗 R에 흐르는 "始動電流" 값은 定格負荷 電流값에 가까운 값을 얻을 수 있다. 그 이후 thyristor 5는 消弧되어지고 thyristor 1과 2(또는 3과 4)가 點弧된다.

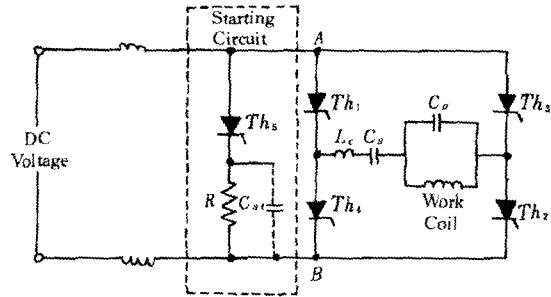


그림 6. 直·竝列補償 인버터의 始動回路

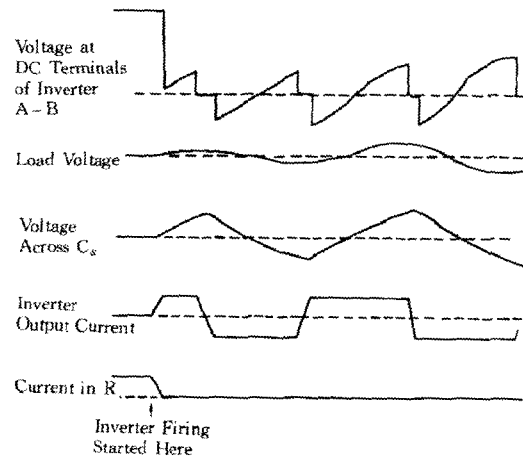


그림 7. 인버터회로의 始動周期 동안의 理論的인 波形

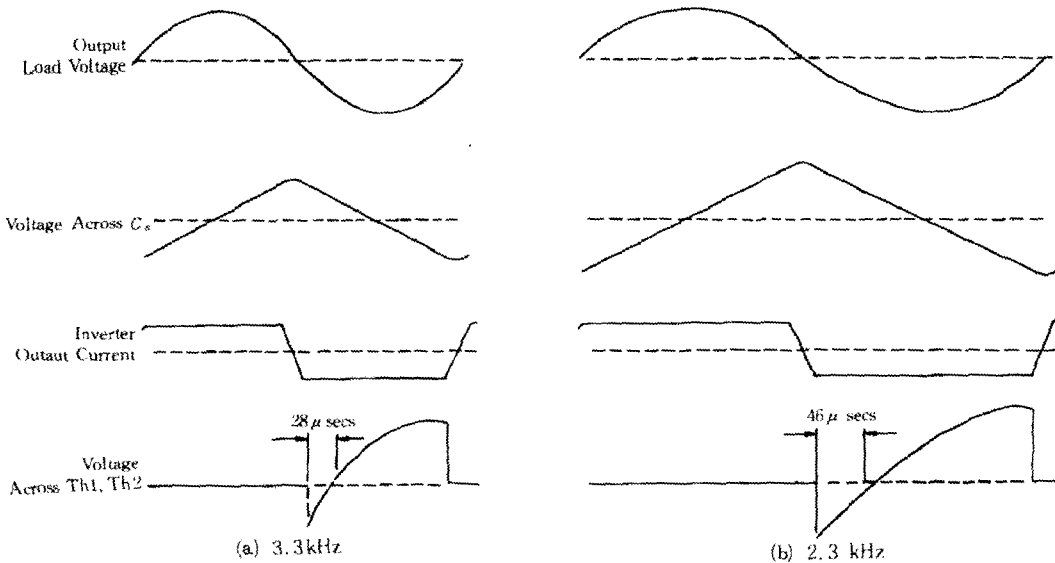


그림 5. 全負荷로 動作되는 直·竝列補償負荷의 理論的인 波形

### 2.3 補助電源方式

그림 8은 補助電源에 의한 始動方式을 나타낸 것이다.

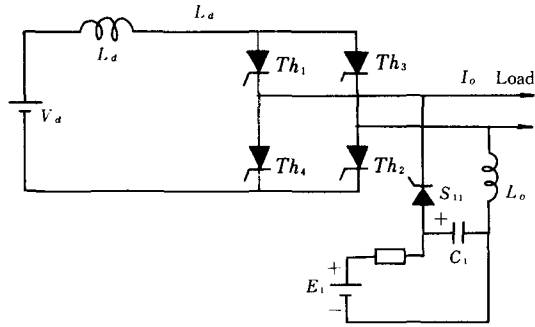


그림 8. 補助直電壓源에 의한 始動回路

이것은 補助電源에 의해 充電된 capacitor C1의 에너지를 thyristor S11을 통하여 tank (負荷)回路에 放電하고, tank 回路에 電壓이 유기된후 Th1-Th4, Th2-Th3을 點弧하여 始動이 이루어지게 하고 轉流를 가능하게 한다.

### 2.4 直列 capacitor 短絡形 始動方式

그림 9는 直列 capacitor 短絡形 始動方式을 나타낸다.

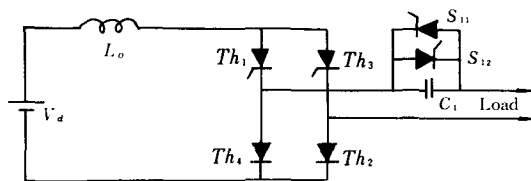


그림 9. 直列 Capacitor 短絡方式의 始動回路

始動時에는 thyristor S11, S12를 消弧 시켜 놓고, 主 thyristor Th1-Th4, Th2-Th3를 교대로 點弧하여 負荷電流를 直列 capacitor C1을 통하여 흘리게 하고, tank(負荷)回路에 電壓이 誘起 되어진후 thyristor S11, S12를

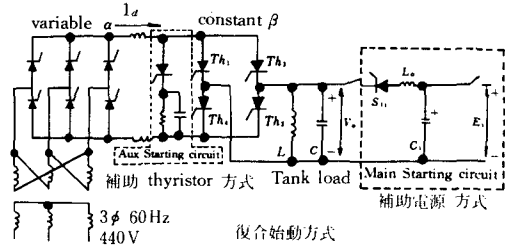


그림 10. 實驗始動回路의 構成圖

點弧하여 直列 capacitor C1을 短絡하는 方式이다.

以上에서 說明한 方式이외에 그림 6과 그림 8을 함께 사용한 復合 補助 thyristor 始動方式이 있다.

### 2.5 復合始動方式을 利用한 시스템의 特性

復合始動方式의 裝置는 그림 1의 基本 並列 補償負荷 inverter 回路를 利用하고, 始動回路는 그림 6의 補助 thyristor 方式 始動回路와 그림 8의 補助電壓源 方式 始動回路를 함께 작용한 것이다.

主 回路는 그림 10과 같은 構成으로 이루어지는 경우가 대부분이며, 裝置는 사진 1에, 始動時 tank(負荷)

回路에 나타나는 電壓, 電流 波形은 사진 2에 나타냈다.

## 3. 結 論

以上에서 考察한 바와같이 電流形 thyristor inverter를 利用한 誘導加熱器는 停止狀態에서 主된 inverter를 別도의 始動回路를 利用하지 않고서는 起動시킬 수 없다는 것을 알 수 있었다.

이러한 目的으로 利用되어지는 始動方式에는 補助 thyristor 方式, 補助電壓源方式, 直列 capacitor 短絡形 方式 및 補助 thyristor 方式과 補助電壓源 方式을 혼합 적용한 復合始動方式 등을 찾아볼 수 있었다. 특히 본 研究에서는 復

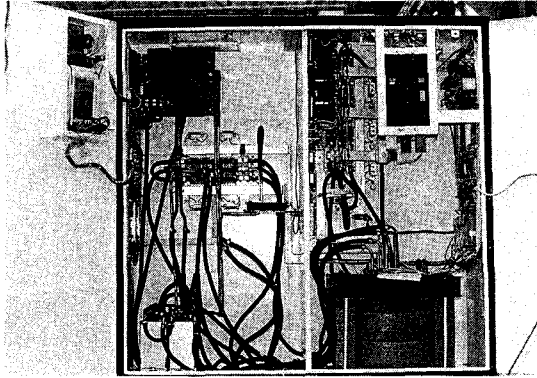


사진 1. 實驗裝置 (1 $\phi$  440V 1kHz 500kW  
韓國産業서비스 (株) 製品)

合始動方式을 채용한 경우의 裝置와 負荷측의 電壓, 電流 波形特性을 考察해 본 結果, 이 裝置로서는 始動에 별다른 어려운 문제가 없다는 것을 알 수 있었으며, 負荷側의 電壓, 電流波形도 理論的인 波形과 동일하다는 것을 볼 수 있었다.

次後의 課題는 復合始動方式을 제외한 다른 始動方式을 이용했을 경우의 始動特性과 出力側 電壓, 電流 等の 動作特性을 研究, 檢討하여 復合始動一方式을 이용했을 경우와를 比較 考察해 보아야 할 필요가 있다고 思料된다.

#### 參考文獻

1. John Davies & Peter Simpson: "Induction Heating handbook". McGRAW-HILL Book Company(UR) Limited, pp.307-313, 1979.
2. M.H.Rashid: "Power Electronics, Circuits, Devices & Application". Prentice-Hall, pp. 251-279.
3. 赤木泰文 外 3人: "SITを用いた 電流形 高周波 誘導加熱裝置". 電氣學會 全國大會 講演 論文集, pp.600, 昭和 59年.
4. 楯野正雄: "電氣加熱技術의 最近의 進歩". 電氣學會雜誌, 104卷 7號, pp.549-552, 昭和 59-7.
5. 車得根 外 3人: "中周波 誘導加熱器를 위한 電流形 인버터의 開發". 東義大學校 産業技術研究誌 第5卷, pp.147-158, 1991.

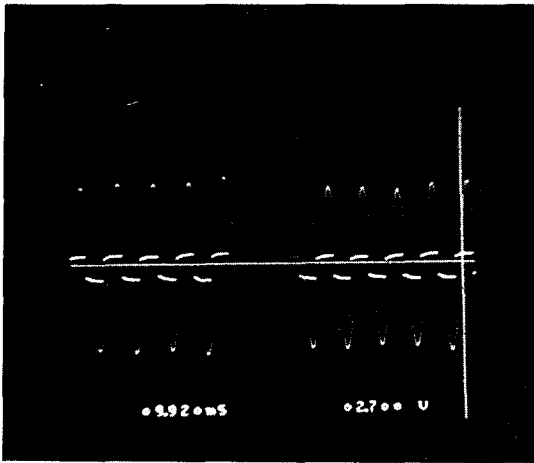


사진 2. 負荷回路의 電壓, 電流 波形