



## 마이크로波로 電力을 보내는 宇宙太陽 發電의 現況

A Present Condition of Universe Solar Power Generation  
Transmitting Electric Power with Microwave

曹 圭 心\*  
Cho, Kyu Shim

### 紹 介

電線을 사용하지 않고 無線으로 電力을 보낼 수 있다면 얼마나 便利하겠는가? 例를 들면 宇宙나 地上에서 自由로 움직이며 돌아다니는 로봇(robot)에 送電한다, 암細胞를 破壞하기 위해 人體에 집어넣은 마이크로機械에 人體의 밖으로부터 送電한다, 携帶電話의 中繼안테나로서, 高度 20km로 선회를 계속하고 있는 無人飛行機에 送電한다, 將來의 에너지(energy)危機를 구제한다고 期待되고 있는 宇宙太陽發電衛星으로부터 地上으로 送電한다, 대충 例를 들기만 해도 이와 같은 여러가지 用途가 있다. 크나큰 可能性을 간직하고 있는 마이크로波送電의 原理와 現在의 開發狀況을 여기에 보고한다.

#### 1. 電波로 에너지(energy)를 보낸다.

정말 마이크로波로 電力을 보낼 수 있는가? 마이크로波(microwave)는 電波중의 周波數帶의 名稱이며, 家庭에서 잘 쓰이고 있는 電子레인지의 속을 뛰는 電波이다. 電子레인지는 마이크로波를 發生하여 食品을 加熱하는 것으로서, 바로 마이크로波가 에너지를 보내고 있다는 것이다. 또 電波를 사용한 通信이라는 것도, 放送局의 送信안테나로부터 電波를 放射하고, 그 一部를 受信안테나로 받으면, TV라면 映像을, 라디오라면 音聲을 傳할 수 있다. 이것도 情報를 실은 에너지를 TV 또는 라디오에 送電한 것이 된다.

이와 같이 마이크로波送電의 原理는 대단히 簡單하며, 에너지 그 自體인 電波를 送受信하는 것 뿐이다. 다만, 通信의 경우는 送信電力의 1兆分の 1程度의 電波를 受信하는 것 만으로, 情報를 傳達할 수 있으나, 電力을 보낸다면 送信한 電波를 100% 가까이 受信하지 않으면 無意味하다. 無線送電이란 말은 아주 낯선 말 같지만 우리는 쉽게 實驗할 수 있기 때문에 누구나 “그것이 그렇구나!”하고 깨닫게 된다. 즉 電線이 필요없는 鑛石레디오라도 放送局의 送信안테나의 아주 가까운 옆에 높으면 스피커(speaker)를 울릴 수 있으며, 또 더 큰 안테나를 만들면 電球를 켤 수도 있다. 즉 放送局의 送信안테나의 옆에 큰 안테나를 놓으면 放送電波의 盜電을 할 수 있다. 그러나 이것은 아주 效率이 나쁜 無線送電이라 할 수 있을 뿐이다.

#### 2. 왜 마이크로波를 사용하는가?

위와 같이 效率이 나쁜 無線送電을 어떻게 하면 效率좋은 無線送電을 할 수 있겠는가?

效率을 向上시키자면, 送信電波를 受信안테나(receiving power antenna)에 集中시키지 않으면 안된다. 電波의 周波數가 높을수록 그만큼 小型送信안테나로, 빔(beam)을 集中시킬 수 있다. 周波數가 높은 빛(光)은 이때 레이저·빔(laser beam)이 되어, 멀리까지 에너지를 集中시킬 수 있다. 그렇지만, 빛(光)이 구름(雲)으로 차단되듯이, 너무 周波數가 높으면 大氣나 水蒸

\*東亞엔지니어링 株式會社(東亞그룹) 技術顧問通信技術士 工學博士

氣에 의해 吸收되어 送信이나 受電의 效率이 떨어진다(效率의 低下). 빛(光)의 領域에서는 受電하여 太陽電池에 축적 하기는 하지만 20% 未湍이란 아주 效率이 나쁜 것이 되어버린다. 그래서, 地上에 사는 우리는 마이크로波와 大氣가 없는 宇宙를 利用하게 되는데, 數 $10\text{GHz}/\text{GHz}_2$ 는 10億 $\text{Hz}_2$ 정도의 電波가 最適으로 본다.

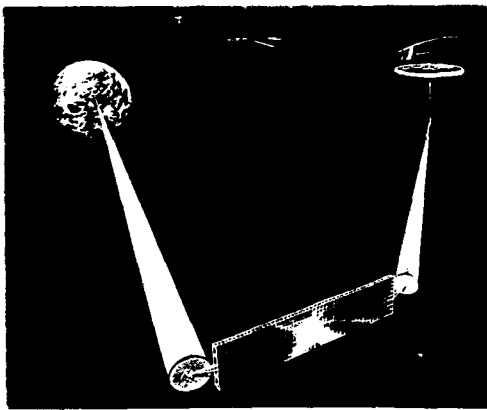


그림 1 地球 및 宇宙都市에 에너지를 보내는 宇宙太陽發電衛星의 概念圖

### 3. 宇宙太陽發電의 궁이(이치).

마이크로波 無線送電에 注目을 하게 된것은 1970年代의 後半이다. 美國의 Peter Glaser 博士가, 1968년에 雜誌 Science 에서 「宇宙太陽發電衛星(SPS: Solar Power Satellite)」를 提唱하고, 에너지省(DOE)과 NASA가 그것을 채택하고 大的인 研究를 始作한 때이다. 1978년에는 레휘런스·시스템(reference system)이라 일컫는 SPS가 發表되었다.

그림1은 SPS로부터 地上과 宇宙都市로 送電하고 있는 想像圖이다. 靜止軌道에  $10\text{km}\times 5\text{km}$ 란 巨大한 太陽電池판넬을 넓혀, 太陽電池로 發電된 電力은 마이크로波로 變換되어 地上으로 보내진다. SPS1기로 우리나라의 最大級의 原子力發電所의 4~5倍以上의 發電量인  $500\text{方}_k\text{W}\sim 600$

方 $_k\text{W}$ 의 電力을 供給할 수 있다. 宇宙에서 太陽光을 太陽電池로 發電하여, 마이크로波라는 에너지(energy) 그 自體로 地上으로 보내므로, 二酸化炭素를 放出하는 일도 없으니 地球環境에 부드러운 에너지源이라 말할 수 있다. 단지, 送電用 마이크로波가 生體나 通信에 全然 影響을 주지 않는다는 것이 前提가 되어야 한다.

### 宇宙에서 發電하는 長點

왜 宇宙에서 發電하여 地上으로 送電하는가? 地上에서 太陽光發電을 하면 되지 않는가? 이라는 質問을 자주 받는다. 그것에 對한 對答은 이렇다. 宇宙에서 發電하면 地上에 比해서 約10倍의 太陽光을 얻을 수 있으므로, 充分히 大型에너지源으로서 成立하기 때문이다. 自明하듯이, 地上에서는 快晴한 날의 晝間에만 發電을 할 수 있으나, 宇宙라면 온 1年中, 보다 正確히는 地球의 그림자에 들어가는 數時間을 除外하고는 稼動할 수 있으며, 비(雨)의 염려도 없다. 太陽電池의 向方은 항상 太陽의 方向으로 맞추어지고 無動力이므로 構造도 簡單하다. 天候에 左右되지 않는 SPS는 安定된 電力源으로서 큰 長點이 있다.

한편, 問題가 있다면, 建造에 巨額의 費用이 든다는 것이다. 그러나, 에너지 單價를 생각하면 반드시 高價라 할 수 없다. 最初의 建造費用이 高價라고는 해도, 太陽光에 의해 發電하고 運轉을 하므로 燃料費가 전연 無用이기 때문이다. 要컨대 SPS쪽이 地上發電에 比해서 싸게 電力을 손에 넣을 수 있다는 것이 條件으로 된다.

그러나 레휘런스·시스템(reference system)은 너무 巨大한 시스템이며, 實現性에 궁핍한 것이라고 말 하지 않을 수 없다. 實際에는 더 다른 概念이나 規模의 SPS를 궁이 한다. 예를 들면, 그림 2에 나타나는 衛星은 二重의 放射線에 依해 太陽光을 모으고, 小型의 太陽電池로 發電하며, 그 裏面의 送電안테나로 地上으로 送

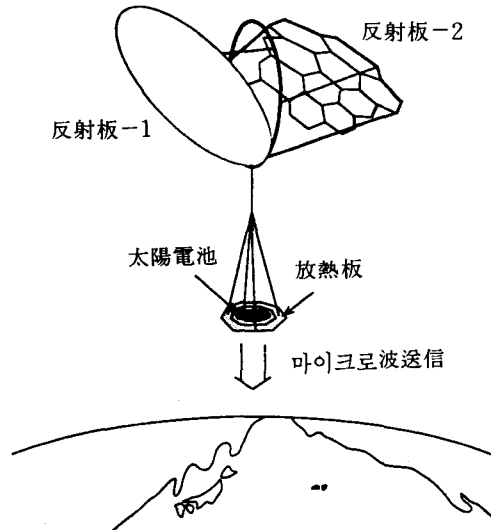


그림 2 反射板을 사용한 集光型 SPS의 概念圖

電하는 構想이다. 단지, 이 方式의 最大의 問題點은 集光으로 因한 熱의 處理方法이다. 排熱이 解決되고, 10倍의 集光이 可能해지면, 1/10의 規模의 太陽電池로 從來의 SPS와 同一한 程度의 發電을 할 수 있다. 이 方式으로서는, 開發이 어려운 集配電裝置나, 로타리·조인트(rotary joint)가 不必要하게 되고, 시스템이 簡素化하고, 重量도 輕減할 수 있다. 重量이 1자리數 減少하면, 上空發射費用 또는 材料費, 製作프로세스가 1자리數減少하게 되며, SPS가 實現될 可能性은 단순히 增大한다. 이와같은 難關突破(break through)에 依하여 SPS가 더 簡單히, 그리고 廉價로 實現될지 모른다.

#### 4. 마이크로波送電開發의 발자취(美國, 캐나다)

1964年, 마이크로波 無線送電을 實證하는 實驗이 美國의 William Brown에 의해 試圖되었다. 地上으로부터 헬리콥터에게 送電한다는 實驗으로, 高度 60회-트로 約10時間飛行시키는

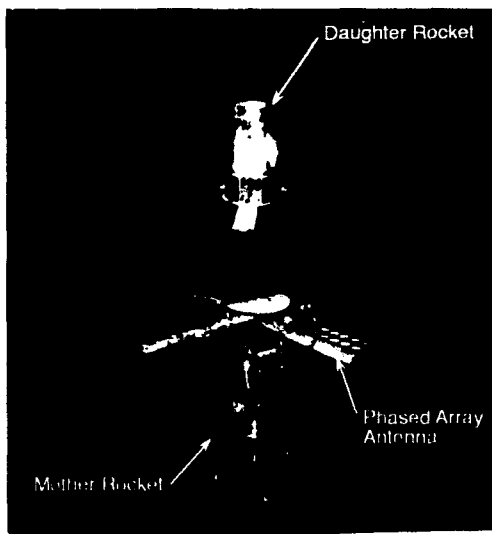
데 成功하였다. 1975년에는, Goldstone 에서는 1.6km 떨어진 受電안테에 30kW以上の 電力을 보낼 수 있었다. 어느쪽 實驗도 送電안테나는 파라보라·안테나(parabola antenna)였는데, 受電안테나는 William Brown에 의해 發明된 렉테나(rectenna)가 使用되었다.

렉테나는 RECTifyingan TENNA로부터의 造語이며, 低利得의 안테나素子, 例컨대 半波長 다이폴·안테나에 檢波用다이오드를 組合한 것을 基本素子로하여, 이 素子を 여러個配列한 것을 受電안테나로 한다. 通信의 경우는, 큰 信號를 얻고져 位相合成을 실시하지만, 受電의 경우는 단순히 電力을 얻으면 足하므로 位相合成의 必要가 없고, 基本素子の 넓은 指向特性을 갖는 것으로 된다. 그때문에, 送電波가 어디서 온다고 하여도 斷面積分の 에너지를 受電할 수 있게 된다는 것이다. 또 렉테나(rectenna)의 變換效率도, Goldstone 實驗에서는 84%에 達하고 있다. 最近에는, 1987年 캐나다의 CRC (Communication Research Centor)에서 模型飛行機에게 送電實驗을 하였다. 4.5m의 파라보라·안테나로부터 10kW 送信하여, 150m의 高度를 飛行시키는데 成功하였다.

이 實驗은 將來의 成層圈 中繼시스템을 目標로 한 것이다. 成層圈 中繼시스템이란, 高度 20km에 플랫폼(platform)을 띄우자는 構想이며, 電動모터로 驅動되는 프로펠라로 飛行하는 無人航空機가 中繼機가 된다. 高度 20km에 뜨는 플랫폼·홈이 이루어지면 여러가지 일을 할 수 있다. 예를 들면, 그곳에 移動電話의 中繼點이 있으면, 半徑 300km 以上에 걸쳐서 中繼點을 直視할 수 있다. 이 경우, 감쇠(減衰)는 1000分の 1以下로 豫想되며, 送信電力을 낮게 抑制할 수 있다(低下 制御). 必要한 電池가 極히 小形化하면, 손목時計와 같은 電話도 꿈은 아니다. 또 上空으로부터 交通狀況의 監視등, 재미있는 아이디어를 생각할 수 있다.

## 5. 日本에서의 開發狀況

日本の 研究그룹은 京都大學과 電氣通信大學가 共同研究로 하고 있다. SPS로부터의 大電力 마이크로波가 電離層프라스마에 주는 영향을 研究하는데서 始作하였다. 宇宙科學研究所의 協力を 얻어 觀測로켓 S-520-6號機를 사용하여 1983년에 行하였던 것이 最初의 物理實驗이다. 로켓은 親子로켓으로 親로켓에는 마이크로波送電시스템을, 子로켓에는 프라스마觀測器(波動受信器, 電子密度·溫度測定器)를 搭載하였다. 送電시스템은, 마크네트로(magnetron)과 導波管안테나만의 아주 簡單한 시스템이었다. 親로켓으로부터 約 830W의 마이크로波를 送電하여, 프라스마의 應答을 測定한 結果, 靜電波의 勵起現象에 對해서 여러가지 興味 깊은 現象을 觀測할 수 있었다. 특히 特徵적이었던 것을, 勵起波가 理論에서 豫



注) Phased Array Antenna → 웨이스트·아레이 안테나  
 Mother Roket → 親 로켓  
 Daughter Roket → 子로켓

그림 3 十字形마이크로波 送電器와 子로켓의 사진(ISY-METS)

想되는 線스펙트럼이었다는 것이다. 또 勵起波의 세기가 理論보다 弱한 波로, 이 觀測結果는 連續的으로 일어나는 三波共鳴에 의한 프라스마의 加熱現象으로 說明된다는 것이, 計算機시뮬레이션에서 밝혀졌다. MINIX(Microwavelonosphere Nonlinear Interaction Experiment) 實驗에 의해 定量的인 物理實驗을, 또 宇宙에서 처음으로 本格的인 마이크로波送電實驗을 目標로, 1993년 2月 18日에는 第2回째의 로켓實驗 ISY-METS (Intornational Space Year-Microwave Energy Transmission in Space)를 試圖하였다. 實驗은 成功하였다. METS로켓 實驗은, 國際宇宙年(1992年)의 하나의 프로젝트로서 認定받았기 때문에, 이름을 ISY-METS로 變更하였다.

## 6. 世界最初の 마이크로波 送電用안테나의 開發

이 實驗에서는, 世界最初로 마이크로波送電用으로서의 active phased array antenna를 開發하였다(그림 3). Active phased array antenna는 마이크로波送電시스템으로서는 不可欠의 技術이다. 巨大한 送電안테나面의 機械的歪(mechanical distortion)를 補正하기 위해서 最適이기 때문이다. 또 마이크로波빔(microwave beam)을 電子的으로 自由로히 制御할 수 있다는 데서, 마이크로波에너지를 一點에 集中할 수 있다. 集中點을 바꾸므로서, 磁力線에 對한 프라스파波動의 平行傳搬이나 垂直傳搬特性을 實驗할 수가 있어, 靜電프라스파波의 보다 詳細한 勵起現象을 實驗할 수 있다. 이와같은 物理實驗의 目的은 宇宙에서의 本格的인 送電(그림 4)에 있다. Active phased array antenna로 子로켓에 搭載된 렉테나(rectenna)로 向해서 無線送電을 行하는 것이다. ISY-METS實驗에서는 二種의 렉테나(rectenna)가 搭載되어, 하나는 렉테나의 發明者인 W.Brown에 의해 設計되어, 國際宇宙大學과 Texas A & M大學에서 製作된 것이다.



그림 4 宇宙에서의 마이크로 波送電實驗의 概念圖(ISY-METS)

이 레크테나에는 여러가지 know-how가 있다. 또한 日本郵政者의 通信總合研究所에서 開發된 레크테나인데, 美·日에서 競爭이 되었다. 이는 어디까지 日本의 技術이 美國에 접근할 수 있는가 興味있게 보여주는 것이라 할 수 있다.

모처럼 開發한 Active phased array antenna를, 로켓實驗에만으로 끝내는 것은 아까운 일이라 생각했고, 또 마이크로波送電에 對해 疑問을 던지는 소리도 있고 하여, 實際로는 模型飛行機를 띄워서, 마이크로波送電을 實證하려고 생각하여, MILAX(Microwave Lifted Airplane experiment)를 計劃하였다. MILAX는 1992年 8月 29日에 日本의 自動車 test course에서 行하였으며, 模型飛行機를 約 40秒間 띄우는데 成功하였다. 그림 5는 이때의 寫眞으로서 自動車의 天井에 設置한 送電안테나로부터 보내진 마이크로波에너지에 의해 模型飛行機가 뜨고 있는 光景이다.

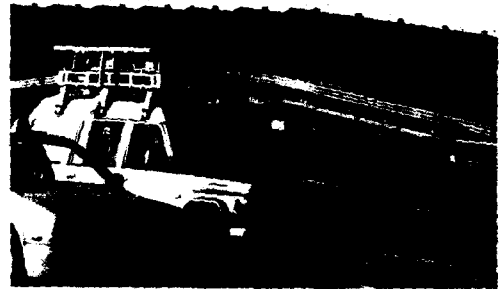


그림 5 (사진) 비행기가 마이크로波로 비행하고 있는 模型飛行機(MILAX)

### 끝맺음

이제부터라도 本格的인 人工衛星에서의 送電, 地上送電, 로보트로에의 送電등으로, 마이크로波送電의 實用을 목표로 과감하게 도전해 가기를 바란다. 讀者 여러분은 頭腦의 회전과 훈련으로 無線으로 에너지를 보낸다면 무엇이 되겠는가? 여러가지 아이디어를 생각해 보기 바란다.