

造紙工場廢棄物的能源轉換與廢棄物的顆粒化

蘇裕昌*

Energy Conversion and Pelleting of Paper Mill Waste

Yu-Chang Su*

Summary

Recently, almost all of the industry has advocated slogans such as reducing the use of fossil fuels, reducing carbon dioxide emissions, and effectively using alternative green fuels. In addition, exploration and implement various aspects of energy-saving measures for global warming and reduction of carbon dioxide emissions.

Andritz Co., has achieved and developed technologies for the above items for paper mill wastes. This paper introduced wastes treatment processes technologies and energy conversion technology (WTP; Waste to Power) for waste from paper mills e.g. from wood chips, waste plastics, waste sludge and wastewater sludge. Also, pelleting technology for wastes and effective use of those pelleted resources were also discussed.

Keywords: Waste treatment, Waste from paper mill, Waste to Power, Energy conversion, Pelleting technology

一、緒言

不僅是製紙業界幾乎是全部的工業界，提倡對降低化石燃料使用量、降低 CO₂ 排出量、替代燃料的有效活用等口號已經很久。並且針對對及防止溫暖化及減低二氧化碳是釋放量貢獻等省能對策，進行多方面的探討及實施。

目前，一般以硫酸鹽法製漿工廠中常將蒸解黑液濃縮後，由回收鍋爐燃燒生產蒸氣並發電進行能源的回收及活用，本作業法屬於生質物之木質原料的有效利用之一環(蘇裕昌, 2005)。所謂碳中性(Carbon neutral)、綠色能源(Green energy)等概念及施行，已經是眾所周知的知識、技術及目標。但是，雖然推動將製紙工場所排出之廢棄物完全轉換作為工場內的能源或資源回用的完全自行處理的零排放及高度循環利用等的目標，仍有更進一步進行應用技術的改良、及效率提升的空間(Saadia and Ashfaq, 2010)。

近年來，各先進國如日本及歐洲等國由於各種時代背景如及環境因素如(1).廢棄物的規範的修訂。(2).廢棄物處

理及輸送費用的高騰。(3).化石燃料(石油及天然氣)價格的高騰。等諸原因而導致對製紙工場所產生之廢棄物加以回收利用並轉換為能源的必要性，因此產官學積極進行研究開發及設備投資(Japan Ministry of the Environment 2012; ANDRITZ, 2018)。

安德里茲公司針對上述項目經年進行相當多數的技術開發，本文，針對該公司製紙工場中所產生之各種廢棄物處理及能源轉換相關之最新廢棄物轉換為能源(WTP; Waste to Power) 技術，及木屑、廢材、疏伐材、廢塑膠類及廢渣、汙泥等的有效利用之製粒技術(Pelleting technology)進行介紹及說明。

二、製紙工場產生的廢棄物及廢棄物處理方法

(一)、廢紙的生命週期 (Life cycle of wastepaper)

近年來大半的製紙公司，以廢紙為原料使用 OCC 再生設備及 DIP 再生設備將纖維回收再利用。但是，廢紙的生命週期不是自我完結型，常再經再生設回收纖維其帶回製紙工場在行重複利用，紙廠中廢渣及汙泥(Reject and sludge)

等大部分的廢棄物自工場中轉運到別地進行掩埋或焚化處理(圖 1)。在場外處理時必須花費運輸費用及所運用之能源、資源廢棄物將其送到系統外部廢棄以外別無他法。在歐州廢棄物的輸送成本約 8-18 歐元/噸(含水分)左右，再加上，廢棄物輸送中及廢棄時也必定會排放出相當量的二氧化碳。另外，在廢紙生處理時所生成之廢渣屬於高發熱量能源原料，雖依據其性質及狀態而異，一般約為 22~32 MJ/BDkg 左右(福沢民雄 et al., 2011)。

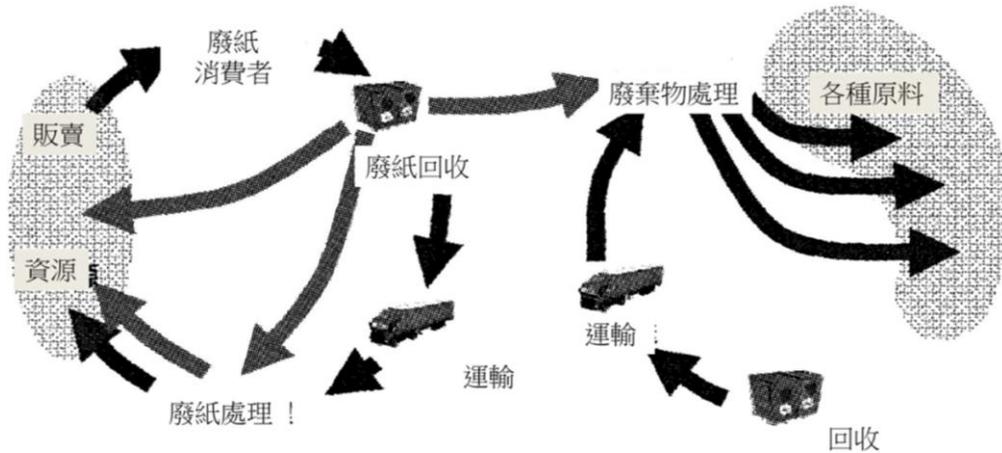


圖 1. 廢紙循環及廢棄物處理流程(福沢民雄 et al.,2011)

(二)、廢棄物的種類、發生源及處理

廢棄物的種類、內容物及處理製程、工場設備各有若干的差異，可以分類為瓦楞廢紙生產線(OCC Line)及脫墨漿生產線(DIP Line)所產生之廢渣(含散漿機、散漿機拉格

繩(Pulper ragger)，在 DIP 設備及機械紙漿製造設備等中所產生之造紙汙泥、在廢水處理工程所衍生之廢水汙泥等 如圖 2。

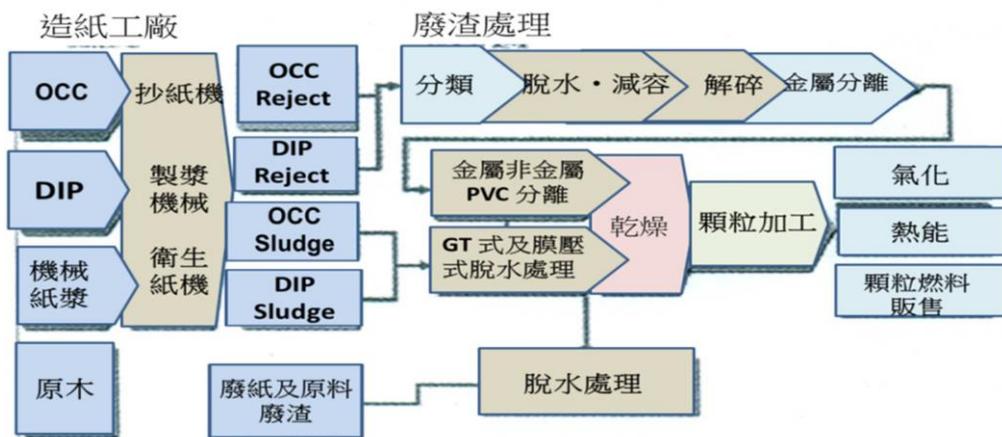


圖 2. 造紙工廠的廢棄物的種類、發生源及處理流程(福沢民雄 et al., 2011)

表 1 顯示歐州某處理能力 800t/d 的瓦楞廢紙生產線的廢棄物發生量及其性質之一例。雖其處理費用依廢棄物種類而異，但均在 110 歐元/t 以上，DIP 廢渣: 80 歐元/t 以上，廢水廢渣:90 歐元/t 以上。另外，還必須再加上運輸成本(約 8-18 歐元/t，含水)左右(福沢民雄 et al., 2011)。

因此，如可自製紙工場內將廢棄物有效轉換成能源，對各工場石化燃料使用量的降低、降低生產能源消耗的原單位，而達到間接的對二氧化碳排放的抑制而對地球環境的改善有所貢獻。

表 1. 800t/d 處理量的瓦楞紙處理工廠廢棄物的發生量及其性質(福沢民雄 et al., 2011)

	t/d(含水)	%灰分	%水分	MJ/kg	GWh
粗廢渣(塑膠)	29	5	40	17	26.6
拉格繩(塑膠:鐵線)	11	5		35	25
篩選廢渣	21	15	50	6	3.5
DIP 汗泥	—	—			
廢水汗泥	10	10	80	1-2	0.7

工場中所產生可能利用之生物質材料(依工場而異)

	t/d(含水)	%灰分	%水分	MJ/kg	GWh
樹皮	115	8	50	10-12	77.5
木片渣及 木質殘材	40	5	50	10-12	28.8

三、廢紙再生工廠的廢棄物處理工程及主要處理設備

廢棄物的基本處理概念前述的 圖 2 所示，本節擬對廢棄物之每段處理工程及主要設備進行詳細介紹(ANDRITZ, 2018a,b)。

(一)、製漿(散漿)

散漿機中產生的拉格繩(Pulper ragger)，在經解碎機粗破碎處理後，再經過金屬分離機後送往分離工程，分離工程中首先在廢渣減容系統(Reject compacter)(參照下節)經減容、脫水處理後，再經解碎處理送往後續工程。在此處，將無法在上流側的金屬分離機中篩分微細金屬類、非鐵金屬類、塑膠類進行篩分分離後俟塑膠類 PVC 等排出系統外之後，再送往乾燥工程擬作為能源的資源(圖 3)。

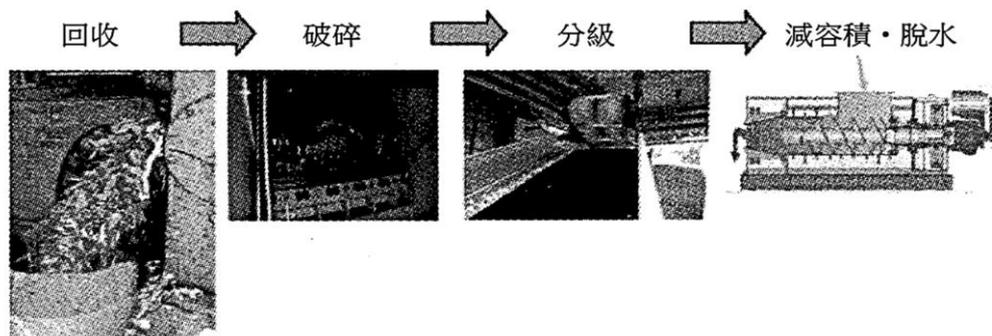


圖 3. 廢渣的處理程序及設備(福沢民雄 et al., 2011)

(二)、散漿機及篩選機的篩渣

散漿機的篩渣在經殘渣減容系統(Reject compacter)減容、脫水處理後，散漿機拉格繩處理系統之解碎機(shredder)入口處合併後再施以分散處理。另外，篩選機篩渣，與金屬分離機以下流線合流進行分散處理。双方的殘渣與散漿機拉格繩同樣送到乾燥工程並乾燥到所定的濃度(圖 3)。

使用廢紙的造紙工場中，首先的作業是將輕質異物中含有多數的塑膠類排出，這些廢棄物為含高熱能的有用之能源原料資源。由安德里茲開發之殘渣減容系統 如圖 4 廢排渣專用之專用機具強固、高應用範圍之脫水・濃縮機。容許入口濃度自 0.5%到 30%，1 台就可將各種廢渣的固形分經脫水・減容提升到濃度 60-65%左右。

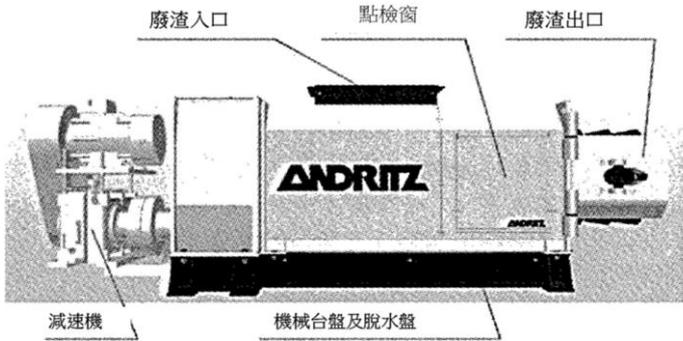


圖 4. 廢渣轉換器(Reject convector) (福沢民雄 et al.,2011)

(三)、製紙汙泥及廢水汙泥

自各製紙工程排放出之製紙汙泥及廢水汙泥，在經重力式脫水(Gravity table)、連續式脫水設備(Continuous Pressure Filters, CPF)、雙網壓榨機(Twin wire press)、螺旋壓榨機(Screw press)後，送到乾燥工程如圖 5。

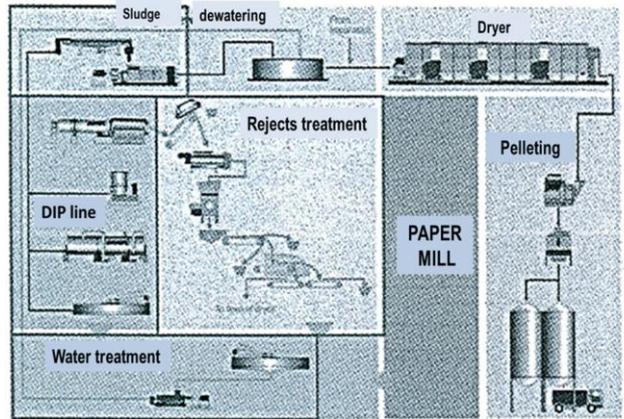


圖 5. 造紙工廠廢渣的處理流程(福沢民雄 et al., 2011)

(四)、乾燥處理

製紙廢渣、製紙汙泥、廢水汙泥，等各廢棄物之水分含量，纖維成分的含量，灰分等的性狀均各不同。安德里茲公司，設計各種乾燥設備各有不同之(流動乾燥式，鼓式乾燥、帶式乾燥)乾燥方式因應。製紙工場的汙泥中的具高纖維含有量之故，以使用帶式乾燥設備(圖 6)為最適合，可將汙泥等廢棄物可乾燥到 85-90%。此外，乾燥用熱源可採用既有之鍋爐及鼓式鍛燒窯(Drum kiln)等的煙道廢氣等的廢熱進行有效的利用。

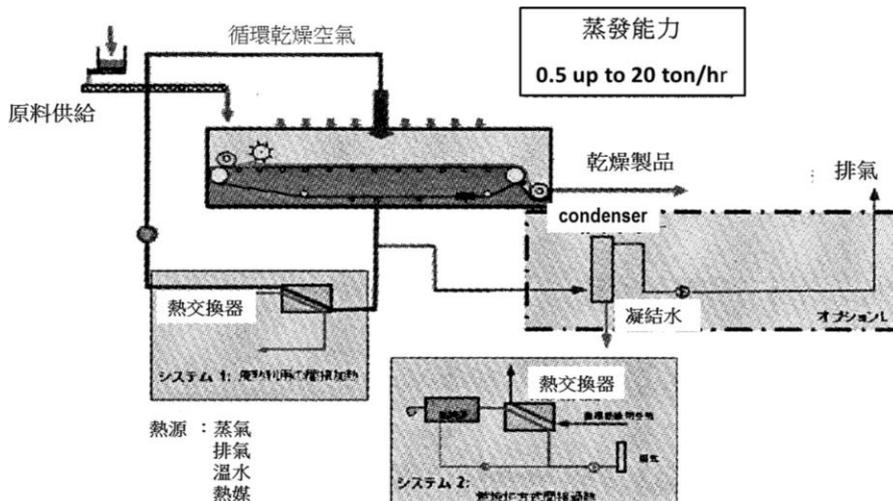


圖 6. 帶式乾燥設備(福沢民雄 et al., 2011)

四、能源轉換

為了將上記 2 項處理之廢棄物課以活用為工場的燃料能源用。製紙工場內高度能源循環利用的概念如圖 7 所示。處理後的廢棄物可活用取代既設鍋爐之石化燃料、鍛燒爐

用重油、蒸氣及汽電共生等發電設備使用，也可做為外售用固形燃料等之替代化石燃料的綠色能源原料上進行有效的活用。以下介紹其活用事例。

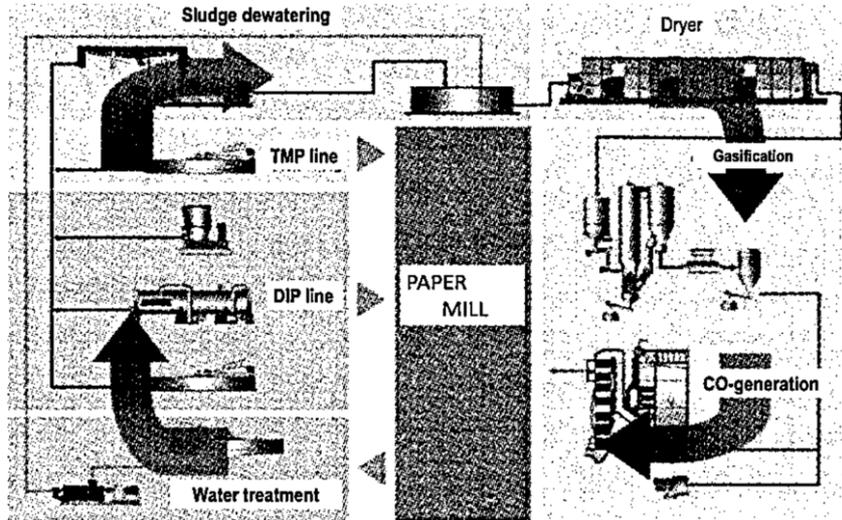


圖 7. 製紙工場內高度能源循環利用(自我完成型)的概念圖(福沢民雄 et al.,2011)

(一)、作為既設鍋爐的替代燃料 (乾燥後粒狀固形燃料)

乾燥後的粒狀固形燃料以經達到可自然的發熱量，可以直接供應現有的既設煤炭鍋爐、或生質物鍋爐的替代燃

料。降低、甚至可中止煤炭等的消費量，不僅達到縮減二氧化碳的排放量，也可作為產生蒸氣的熱源利用(圖 8)

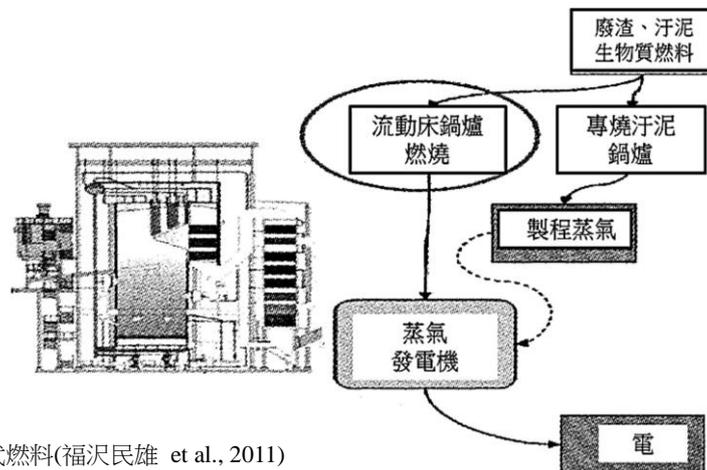


圖 8. 作為既設鍋爐的替代燃料(福沢民雄 et al., 2011)

(二)、作為鍛燒爐或鍋爐用重油之替代燃料 (氣化)

乾燥後粒狀固形燃料投入安德里茲開發之流動床型氣化設備，將其氣化後可以利用為作為鍛燒爐用重油之替代

燃料。也可改造已既設氣化燃料用鍋爐。本設備的導入，不僅貢獻降低化石燃料使用量，也縮減了二氧化碳排出量(圖 9)。

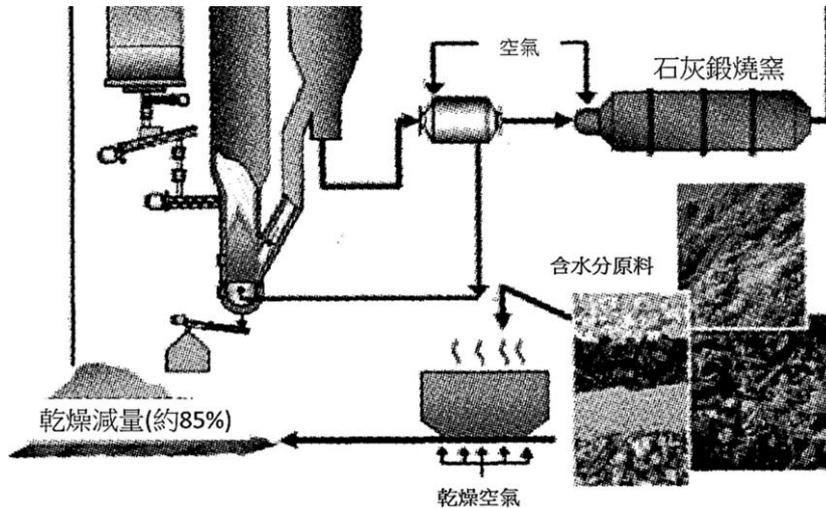


圖 9. 鍛燒爐(Kiln)氣化設備(福沢民雄 et al., 2011)

(三)、蒸氣鍋爐及燃氣發動機(Gas engine)用清潔能源 (clean energy)(氣化及焦油用觸媒)

前述的氣化設備的下流側由設置焦油分解塔(經特殊觸媒處理)及冷卻設備，達到可以利用為蒸氣鍋爐及燃氣發

動機用的能源。以該公司的處理流程可將所有的焦油全部不會排出到系統外，可以全量做為能源有效利用為其特色(圖 10)。

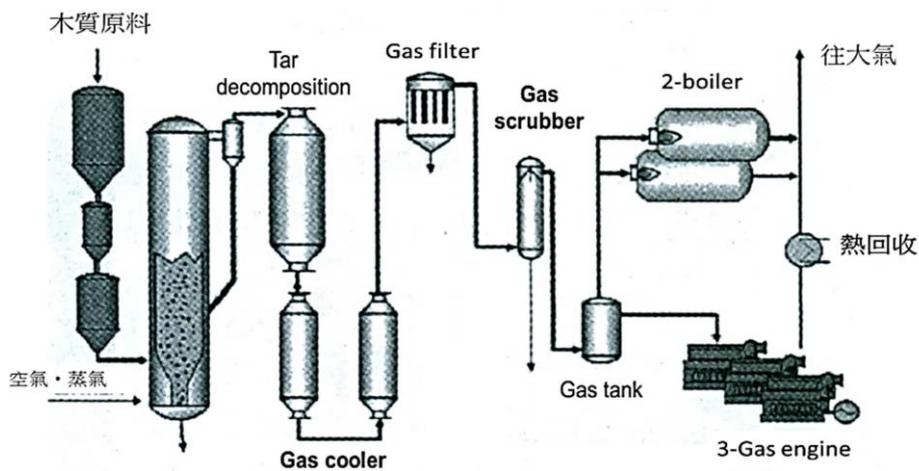


圖 10. 可生產蒸氣及發電的氣化設備(福沢民雄 et al.,2011)

(四)、外販用固形燃料(顆粒燃料)

經乾燥後之造粒設備所製備之粒狀固形燃料也可外售。由於造粒將材料的密度度提升 3 倍而達到降低輸送成本。更因塑膠類、含廢樹脂材料與木質類材料的混合約略可得到具有與煤炭相若的發熱量的再生燃料。

五、木質顆粒燃料的製造設備

(一)、木質顆粒燃料的需求

為了降低化石燃料使用量、縮減二氧化碳排放量、抑制地球溫暖化對策需求，木質顆粒燃料需要急激增加，設備的投資也非常熱絡。根據歐州的研究組織調查，2008 年木質顆粒燃料的消費量為 920 萬噸，預測到 2020 年的需求可能會急激的增加為 1 億 2000 萬噸~1 億 5000 萬噸如圖 11。

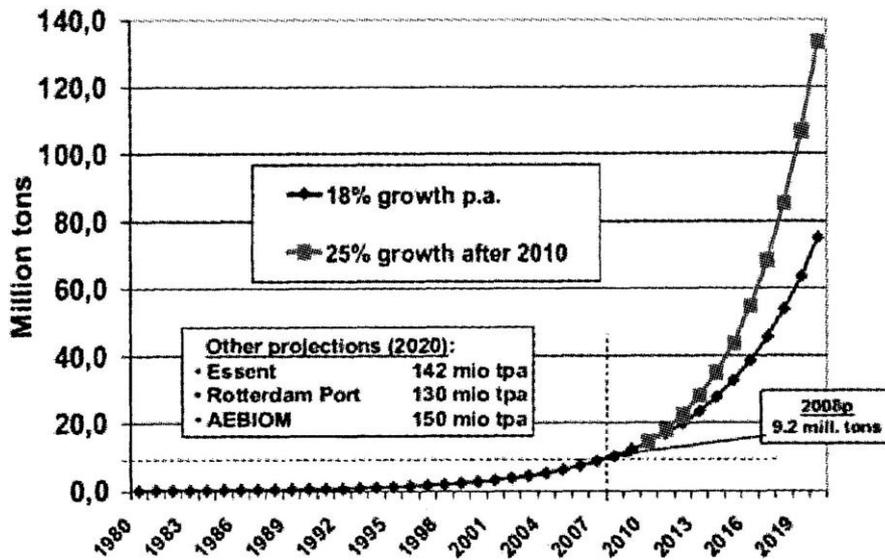


圖 11 木質顆粒燃料的需求預測(福沢民雄 et al.,2011)

(二)、安德里茲公司木質顆粒燃料的製造設備

安德里茲社木質顆粒燃料的製造設備方面具有最多的實際應用的實績。全世界 440 顆粒燃料工場中已經有 250 工場使用之業績，接近 60% 市場佔有率。最近顆粒燃料工廠不只引進燃料顆粒單體機器，而且由於安德里茲公司的綜合技術的帶動，自原料入口到製品端的整廠採用的事業以逐漸增多。

2010 年在俄國有 90 萬噸/年，在美國有 75 萬噸/年木

質顆粒燃料製造設備的訂購。另外，安德里茲公司也具開發有炭顆粒燃料製造技術，將在另外的文章上介紹說明。

(三)、主要相關設備

粒狀化燃料的製造設備，由原料送入、粗碎、乾燥、磨粉、造粒、冷卻、篩分、氣化處理、及其周邊附屬設備所構成 如圖 12。安德里茲公司擁有粒狀化燃料製造相關之所有主要技術。

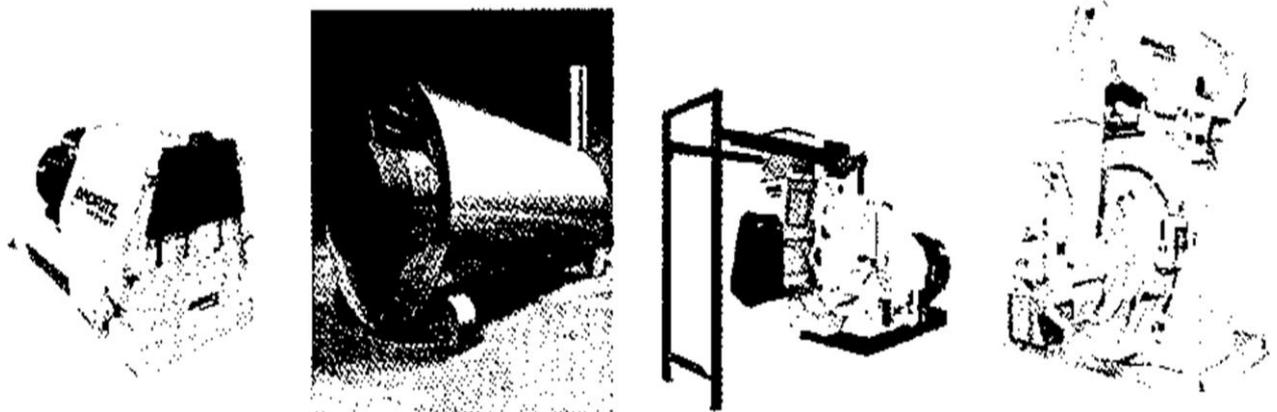


圖 12 木質顆粒元燃料製造設備(福沢民雄 et al.,2011) (Optimill,DDS drum dryer,PM 30,LM26)

六、參考文獻

1. 蘇裕昌 2005 硫酸鹽製漿的基礎。漿紙技術，9(1)：1-26。
 2. Saadia A. and A. Ashfaq 2010 Environmental management in pulp and paper industry. Journal of Industrial Pollution Control 26(1): 71-77
 3. 福沢民雄，吉永睦男，吉田令 2011 製紙工場廢棄物のエネルギー轉換(WTP)とペレット化。紙パ技協誌 65(10):1031-1035.
 4. ANDRITZ 2018a Waste-to-value Innovative recycling of mill waste. <http://www.recyklacni-stroje.eu/wp-content/uploads/2017/08/pp-waste-to-value.pdf>
 5. ANDRITZ 2018b Waste-to-value systems (Reject & Sludge).<https://www.andritz.com/china-en/products-overview/pulp-and-paper-cn/power-generation-pulp-and-paper/waste-to-value-recycling-cn>
 6. Japan Ministry of the Environment 2012 Solid Waste Management and Recycling Technology of Japan – Toward a Sustainable Society Toward a Sustainable Society – Pp,1-30
-

*蘇裕昌 國立中興大學森林系教授

*Dr. Yu -Chang Su, Professor, Dept. of Forestry, National Chung-hsing University.