



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I709012 B

(45)公告日：中華民國 109 (2020) 年 11 月 01 日

(21)申請案號：104125486

(22)申請日：中華民國 104 (2015) 年 08 月 05 日

(51)Int. Cl. : **G05D7/06 (2006.01)****C04B40/02 (2006.01)****F16B21/06 (2006.01)**

(30)優先權：2014/08/05 美國

62/033,366

(71)申請人：美商索利迪亞科技股份有限公司 (美國) SOLIDIA TECHNOLOGIES, INC. (US)
美國(72)發明人：派特丹文 PATTEN, DEVIN (US)；阿塔坎瓦希特 ATAKAN, VAHIT (TR)；卡斯多
羅丹尼爾 CASTORO, DANIEL (US)；瑞庫瑪迪巴克 RAVIKUMAR, DEEPAK
(IN)；庫普勒約翰 KUPPLER, JOHN (US)；傑生史帝芬 JENSEN, STEVEN (US)；
史坎特博瑞馬克 SCANTLEBURY, MARK (GY)；史密斯肯奈許麥克 SMITH,
KENNETH MICHAEL (US)；莫拉喬治 MORA, JORGE (VE)；羅加思艾曼紐
ROJAS, EMANUEL (US)；舒勒湯姆 SCHULER, TOM (US)；布雷克拉克亞倫
BLACKLOCK, ALAN (US)

(74)代理人：蔡坤財；李世章

(56)參考文獻：

TW 200403201A

TW 200425165A

CN 102066710A

CN 103561847A

審查人員：施孝欣

申請專利範圍項數：17 項 圖式數：31 共 74 頁

(54)名稱

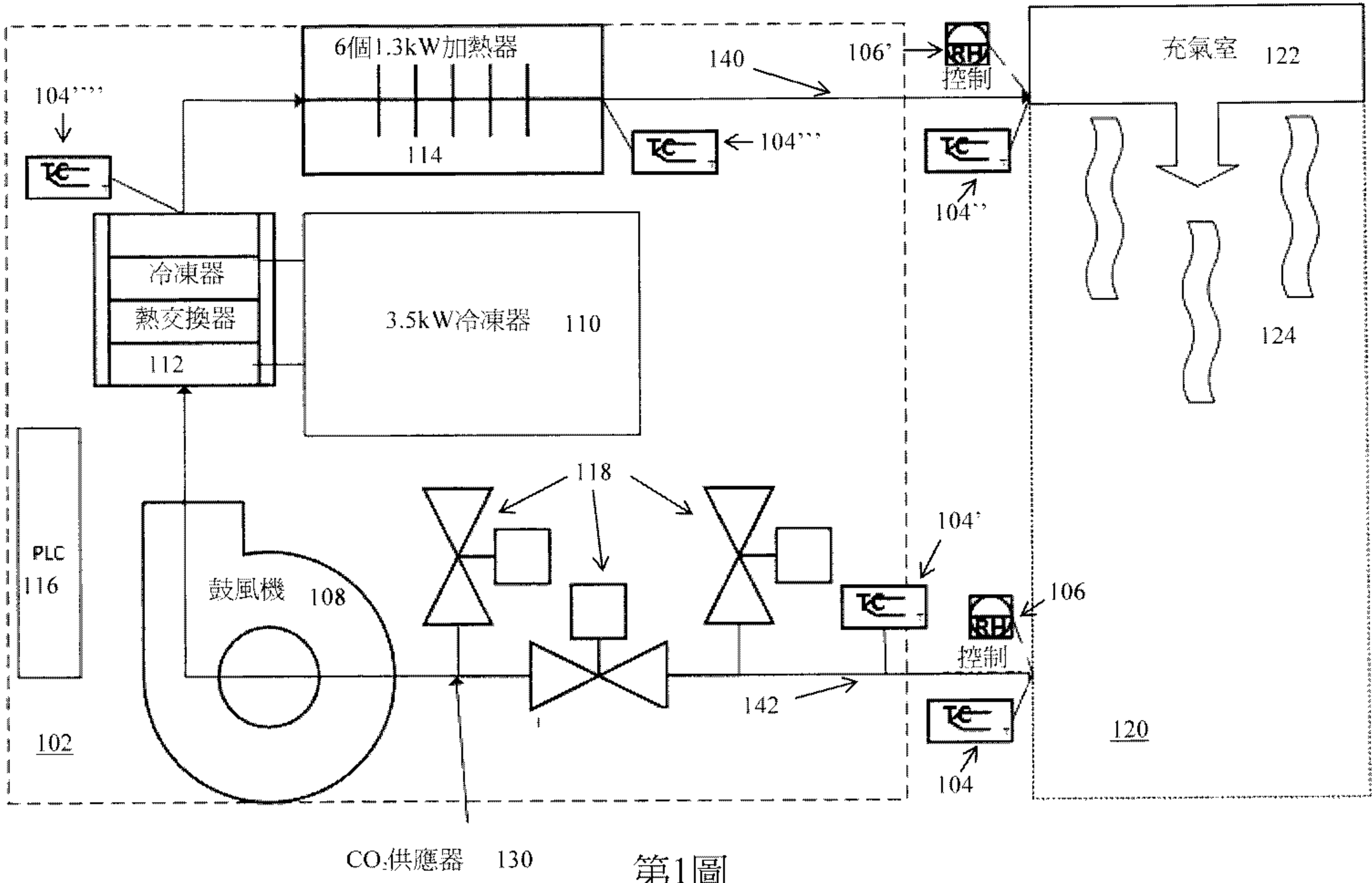
控制器、場鑄方法、及用於硬化待與二氧化碳反應而硬化的材料的硬化系統

(57)摘要

本發明包含用於調理再循環氣流的裝備，用以硬化 CO₂ 複合材料(CCM)，及包含使用此裝備來硬化 CCM 的製程。在複合材料硬化期間，氣體調理裝備能使製程控制、減少或消除水分移除相關的速率決定步驟。裝備可包括、但不限於控制系統內的溫度、相對溼度、流率、壓力和二氧化碳濃度；系統包括調理裝備、任何容納 CCM 的容器和材料本身。流率控制可做為同時達成均勻氣體速度與組成的手段。

The invention encompasses equipment used to condition a recirculating gas stream in order to cure a CO₂ Composite Material (CCM) and processes that use such equipment to cure the CCM. The gas conditioning equipment allows for a process that controls, reduces or eliminates the rate-limiting steps associated with water removal during the curing of a composite material. The equipment may include, but will not be limited to, control over the temperature, relative humidity, flow rate, pressure, and carbon dioxide concentration within the system; which includes the conditioning equipment, any vessel containing the CCM, and the material itself. Flow rate control can be used as a means to achieve uniformity in both gas velocity and composition.

指定代表圖：



符號簡單說明：

- 102 . . . 氣體調理系統
- 104、104’、104”、104’ ”、104” ”、106、106’ . . . 感測器
- 108 . . . 鼓風機
- 110 . . . 冷凍器
- 112 . . . 熱交換器
- 114 . . . 加熱器
- 116 . . . 控制器
- 120 . . . 硬化腔室
- 122 . . . 充氣室
- 124 . . . 氣流
- 130 . . . CO₂ 供應器
- 140 . . . 氣體輸送管
- 142 . . . 氣體回收管



I709012

【發明摘要】

【中文發明名稱】 控制器、場鑄方法、及用於硬化待與二氧化碳反應而硬化的材料的硬化系統

【英文發明名稱】 CONTROLLERS, CAST-IN-PLACE METHODS, AND CURING SYSTEMS FOR CURING MATERIAL TO BE CURED BY REACTION WITH CARBON DIOXIDE

【中文】

本發明包含用於調理再循環氣流的裝備，用以硬化 CO_2 複合材料（CCM），及包含使用此裝備來硬化 CCM 的製程。在複合材料硬化期間，氣體調理裝備能使製程控制、減少或消除水分移除相關的速率決定步驟。裝備可包括、但不限於控制系統內的溫度、相對溼度、流率、壓力和二氧化碳濃度；系統包括調理裝備、任何容納 CCM 的容器和材料本身。流率控制可做為同時達成均勻氣體速度與組成的手段。

【英文】

The invention encompasses equipment used to condition a recirculating gas stream in order to cure a CO_2 Composite Material (CCM) and processes that use such equipment to cure the CCM. The gas conditioning equipment allows for a process that controls, reduces or eliminates the rate-limiting steps associated with water removal during the curing of a composite material. The equipment may include, but will not be limited to, control over the temperature, relative humidity, flow rate, pressure, and carbon dioxide concentration within the system; which includes the conditioning equipment, any vessel containing the CCM, and the material itself.

Flow rate control can be used as a means to achieve uniformity in both gas velocity and composition.

【指定代表圖】第（1）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

1 0 2 氣體調理系統

1 0 4 、 1 0 4 ' 、 1 0 4 '' 、 1 0 4 ' ' ' 、 1 0 4 '' ' ' 、 1 0 6 、 1 0 6 ' 感

測器

1 0 8 鼓風機

1 1 0 冷凍器

1 1 2 熱交換器

1 1 4 加熱器

1 1 6 控制器

1 2 0 硬化腔室

1 2 2 充氣室

1 2 4 氣流

1 3 0 C O ₂ 供應器

1 4 0 氣體輸送管

1 4 2 氣體回收管

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 控制器、場鑄方法、及用於硬化待與二氧化碳反應而硬化的材料的硬化系統

【英文發明名稱】 CONTROLLERS, CAST-IN-PLACE METHODS, AND CURING SYSTEMS FOR CURING MATERIAL TO BE CURED BY REACTION WITH CARBON DIOXIDE

【交互參照之相關申請案】

【0001】 本申請案主張西元2014年8月5日申請、同在申請中的美國臨時專利申請案第62/033,366號的優先權和權益，該等申請案全文以引用方式併入本文中。

【技術領域】

【0002】 本發明大體係關於用於硬化複合材料的系統和方法，且特別係關於在複合物硬化時控制複合物含水量的系統和方法。

【先前技術】

【0003】 許多材料系統用硬化腔室為此領域所周知，包括配置以操縱材料經特定化學反應的腔室。一些習知硬化腔室相關問題包括腔室成本、腔室操作條件與位置限制和硬化製程的控制精確度。

【0004】 故需要提供通用性、精確度及降低成本的硬化腔室和方法。

【發明內容】

【0005】 根據一態樣，本發明的特徵在於用於硬化材料的硬化系統，此需要CO₂做為硬化試劑。材料在缺少CO₂

的情況下不會硬化。材料不會消耗水分做為試劑。硬化系統包含配置以容納材料的硬化腔室，材料消耗 CO_2 做為反應物（試劑）且在缺少 CO_2 的情況下不會硬化。硬化腔室具有至少一埠口，埠口配置使材料得引入硬化腔室及移出硬化腔室，及具有至少一扣合件用於埠口，扣合件配置以於關閉時提供大氣密封，以防止（或限制成無害程度）硬化腔室內的氣體遭硬化腔室外的氣體污染；二氧化碳源配置以利用硬化腔室的進氣口提供氣態二氧化碳至硬化腔室，二氧化碳源具有至少一流量調節裝置，流量調節裝置配置以控制氣態二氧化碳流入硬化腔室的流率；氣流子系統配置以在消耗 CO_2 做為試劑的材料硬化時，使氣體循環通過硬化腔室；溫度控制子系統配置以控制腔室內的氣體溫度；溼度控制子系統配置以控制腔室內的氣體溼度，以增加或減低溼度；至少一控制器通信連接二氧化碳源、氣流子系統、溫度控制子系統和溼度控制子系統的至少一者；及至少一控制器配置以在消耗 CO_2 做為試劑的材料硬化時，個別控制氣態二氧化碳流率、氣體循環通過硬化腔室、氣體溫度和氣體溼度的至少一者。

【0006】 根據一態樣，本發明的特徵在於硬化系統，用以硬化待與二氧化碳反應而硬化的材料。硬化系統包含氣體調理系統和硬化腔室，氣體調理系統與硬化腔室由氣體輸送管和氣體回收管連接在一起，硬化腔室配置以容納待與二氧化碳反應而硬化的材料；氣體調理系統包括二氧化碳源、氣流子系統、溫度控制子系統、溼度控制子系統和

用於控制硬化製程參數的子系统；用於控制硬化製程參數的子系统包含控制器，控制器包含微處理器，微處理器配置以在受到指令集控制下操作，指令集記錄在第一機器可讀取媒體，以控制待與二氧化碳反應而硬化材料的硬化製程。

【0007】 根據一態樣，本發明的特徵在於控制器。控制器包含微處理器，微處理器配置以在受到指令集控制下操作，指令集記錄在第一機器可讀取媒體，當依據指令集操作時，微處理器進行下列步驟：控制二氧化碳源、氣流子系统、溫度控制子系统和溼度控制子系统的至少一者的操作；開始流入含二氧化碳的製程氣體，以接觸待與製程氣體中的二氧化碳反應而硬化的材料；當提供製程氣體時，監測選自由從開始流入起的經過時間、二氧化碳濃度、相對溼度、流率、溫度和製程氣體壓力所組成參數群組的至少一參數；及進行下列至少一者：記錄至少一監測參數、將至少一監測參數傳送到資料處置系統、或對使用者顯示至少一監測參數。

【0008】 在一實施例中，當依據指令集操作時，微處理器進行自外部來源接收開始命令的步驟。

【0009】 在另一實施例中，當依據指令集操作時，微處理器進行測定硬化腔室是否適當裝載的步驟。

【0010】 在又一實施例中，當依據指令集操作時，微處理器進行測定硬化腔室是否適當關閉的步驟。

【0011】 在再一實施例中，當依據指令集操作時，微處理器進行測定待與二氧化碳反應而硬化的材料硬化狀態的步驟。

【0012】 在另一實施例中，當依據指令集操作時，微處理器進行在解除製程氣體接觸待與二氧化碳反應而硬化的材料時，監測至少一參數的步驟，至少一參數選自由二氧化碳濃度、相對溼度、流率、溫度、壓力和製程氣體流入時間所組成的參數群組。

【0013】 在又一實施例中，當依據指令集操作時，微處理器進行監測至少一參數的步驟，至少一參數選自由在硬化腔室的或更多位置的二氧化碳濃度、相對溼度、流率、溫度和壓力所組成的參數群組。

【0014】 在一附加實施例中，當依據指令集操作時，微處理器進行接收使用者輸入的步驟，輸入表示構成待進行製程步驟的一或更多製程參數。

【0015】 在一或更多實施例中，當依據指令集操作時，微處理器進行把做為製程配方步驟的使用者輸入記錄在非揮發性機器可讀取媒體的步驟。

【0016】 在再一實施例中，當依據指令集操作時，微處理器進行擷取記錄在非揮發性機器可讀取媒體的至少一製程配方步驟的步驟。

【0017】 在一實施例中，第一機器可讀取媒體和非揮發性機器可讀取媒體為相同媒體。

【0018】 根據另一態樣，本發明係關於氣流子系統。氣流子系統包含閥、流量調節器、質量流量控制器、鼓風機和氣體輸送結構的至少一者；氣流子系統配置以提供製程氣體，製程氣體包含二氧化碳做為試劑並流體接觸待與二氧化碳反應而硬化的材料。

【0019】 在一實施例中，除了包含二氧化碳做為試劑的製程氣體，氣流子系統還與水汽相容。

【0020】 在另一實施例中，除了包含二氧化碳做為試劑的製程氣體，氣流子系統還與空氣相容。

【0021】 在又一實施例中，氣體輸送結構埋設於待與二氧化碳反應而硬化的材料。

【0022】 在再一實施例中，氣體輸送結構係透氣層，透氣層設置鄰接待與二氧化碳反應而硬化的材料。

【0023】 在另一實施例中，氣流子系統進一步包含通信埠，通信埠配置以接收控制器的控制訊號。

【0024】 在又一實施例中，氣流子系統進一步包含通信埠，通信埠配置以傳遞訊號至控制器，訊號編碼二氧化碳濃度、相對溼度、流率、溫度和製程氣體壓力的至少一者。

【0025】 在一附加實施例中，氣流子系統進一步包含氣體回收管道。

【0026】 在一或更多實施例中，氣流子系統進一步包含通信埠，通信埠配置以傳遞訊號至控制器，訊號編碼氣體回收管道中的二氧化碳濃度、相對溼度、流率、溫度和氣體壓力的至少一者。

【0027】 根據又一態樣，本發明係關於溫度控制子系統。溫度控制子系統包含加熱器與冷卻器的至少一選定者，溫度控制子系統配置以控制含二氧化碳的製程氣體溫度，以在接觸待與製程氣體中的二氧化碳反應而硬化的材料之前，致使製程氣體達預定溫度。

【0028】 在一實施例中，溫度控制子系統進一步包含感測器，感測器配置以測量氣體溫度。

【0029】 在另一實施例中，感測器係熱耦。

【0030】 在又一實施例中，溫度控制子系統進一步包含感測器，感測器配置以測量相對溼度。

【0031】 在再一實施例中，溫度控制子系統進一步包含通信埠，通信埠配置以傳遞訊號至控制器，訊號代表溫度值與相對溼度值的至少一者。

【0032】 在另一實施例中，溫度控制子系統進一步包含通信埠，通信埠配置以接收控制器的控制訊號。

【0033】 在又一實施例中，溫度控制子系統配置以利用控制訊號，致使加熱器與冷卻器的至少一選定者運作。

【0034】 根據再一態樣，本發明係關於溼度控制子系統。溼度控制子系統包含水汽源與水汽移除設備的至少一選定者，溼度控制子系統配置以控制含二氧化碳的製程氣體的溼度，以在接觸待與製程氣體中的二氧化碳反應而硬化的材料之前，致使製程氣體達預定溼度。

【0035】 在一實施例中，水汽源包含水源、閥和噴頭。

【0036】 在另一實施例中，水汽源包含蒸汽產生器。

【0037】 在又一實施例中，蒸汽產生器包含潛式加熱器。

【0038】 在另一實施例中，水汽源包含含水起泡器，氣體經此可冒泡。

【0039】 在又一實施例中，水汽移除設備係冷凍器。

【0040】 在再一實施例中，水汽移除設備係冷凝器。

【0041】 在另一實施例中，水汽移除設備係熱交換器。

【0042】 在又一實施例中，溼度控制子系統進一步包含溼度感測器，溼度感測器配置以測量製程氣體的相對溼度。

【0043】 在再一實施例中，溼度控制子系統進一步包含通信埠，通信埠配置以傳遞代表相對溼度值的訊號至控制器。

【0044】 在一附加實施例中，溼度控制子系統進一步包含通信埠，通信埠配置以接收控制器的控制訊號。

【0045】 在一或更多實施例中，溼度控制子系統配置以利用控制訊號，致使水汽源與水汽移除設備的至少一選定者運作。

【0046】 根據一態樣，本發明的特徵在於硬化腔室。硬化腔室包含定義封密容積的包體，包體包含壁面，壁面配置以容納待與製程氣體中的二氧化碳反應而硬化的材料，包體包含可關閉開口，可關閉開口配置使待硬化材料得引入包體；入口埠配置使含二氧化碳的製程氣體進入包體；及出口埠配置使製程氣體離開包體。

【0047】 在一實施例中，硬化腔室進一步包含位於包體內的充氣室，充氣室配置以利用一或更多位置提供製程氣體，製程氣體可由一或更多位置注入包體。

【0048】 在另一實施例中，充氣室配置以控制製程氣體在包體內的流速、流向和流型的至少一者。

【0049】 在又一實施例中，充氣室配置以引導製程氣體流至待硬化材料外側及至待硬化材料界定的內部通道的至少一者。

【0050】 在再一實施例中，入口埠配置以控制製程氣體在包體內的流速、流向和流型的至少一者。

【0051】 在另一實施例中，出口埠配置以控制製程氣體在包體內的流速、流向和流型的至少一者。

【0052】 在又一實施例中，壁面係撓性壁。

【0053】 在一附加實施例中，撓性壁由塑膠、Mylar®和乳膠之一選定者製成。

【0054】 在一或更多實施例中，撓性壁包括配置以保留熱能的塗層。

【0055】 在再一實施例中，壁面包括口孔，口孔覆蓋上可讓預定光譜區穿透的材料。

【0056】 在一或更多實施例中，至少一感測器設在包體內，至少一感測器配置以提供至少一製程氣體性質與包體內操作條件相關資料。

【0057】 根據另一態樣，本發明係關於場鑄方法。場鑄方法包含下列步驟：製備位置，供待與製程氣體中的二氧

化碳反應而硬化的材料灌鑄；把製程氣體輸送結構和待與二氧化碳反應而硬化的材料放到位置；及利用製程氣體輸送結構，提供製程氣體至待硬化材料，計足使待硬化材料硬化的一段時間。

【0058】 在一實施例中，在硬化製程完成後，製程氣體輸送結構仍帶有待硬化材料。

【0059】 在另一實施例中，場鑄方法進一步包含在把製程氣體輸送結構和待與二氧化碳反應而硬化的材料放到製備位置後，覆蓋製程氣體輸送結構和待與二氧化碳反應而硬化的材料的步驟。

【0060】 在又一實施例中，提供製程氣體的步驟包括在提供製程氣體時，控制選自由從開始流入起的經過時間、二氧化碳濃度、相對溼度、流率、溫度和製程氣體壓力所組成參數群組的製程氣體參數。

【0061】 在再一實施例中，場鑄方法進一步包含控制待與二氧化碳反應而硬化的材料含水量的步驟。

【0062】 在另一實施例中，控制待硬化材料的含水量的步驟包含選定自材料移除水分或添加水分至材料之一。

【0062】 本發明的上述和其他目的、態樣、特徵和優點在參閱以下實施方式說明和申請專利範圍後，將變得更明顯易懂。

【圖式簡單說明】

【0063】 本發明的目的和特徵在參閱以下圖式和申請專利範圍後將變得更好理解。圖式未必按比例繪製，重點

大致係放在說明本發明的原理。各圖以相同的元件符號代表不同視圖中相仿的零件。

【0064】 第1圖係配合使用 CO_2 複合材料的硬化系統實施例的示意圖。

【0065】 第2圖係配合使用 CO_2 複合材料的替代硬化系統實施例的示意圖。

【0066】 第3圖係適於硬化細長 CO_2 複合材料試樣的硬化腔室的透視圖。

【0067】 第4圖係第3圖硬化腔室含有待硬化細長 CO_2 複合材料試樣的視圖。

【0068】 第5圖係第3圖硬化腔室關閉以進行硬化的視圖。

【0069】 第6圖係充氣室圖像，用以輸送硬化大氣至具內部圓形流道的 CO_2 複合材料樣品。

【0070】 第7圖係 CO_2 複合材料樣品圖像，此樣品係藉由在內部圓形流道流動而硬化。

【0071】 第8圖係圖像，用以說明反應深度差異隨流率的變化。

【0072】 第9圖係圖表，用以說明在系統中使用1個風扇與3個風扇硬化時，反應深度、氣流（立方呎每分鐘）和自 CO_2 複合材料試樣移除水量的差異。

【0073】 第10圖係圖表，此圖顯示水分移除速率隨具不同相對溼度的氣體流率變化的資料。

【0074】 第11圖係製程流程圖，用以說明在戶外灌鑄及硬化複合材料的製程步驟。

【0075】 第12圖係用於輸送氣體至通透CO₂複合材料的場鑄段的穿孔PVC網格圖像。

【0076】 第13圖係將通透CO₂複合材料澆注到第12圖氣體輸送系統上面的圖像。

【0077】 第14圖係覆蓋上塑膠布的通透CO₂複合材料段圖像，此段具有CO₂入口與之連接。

【0078】 第15圖係氣流調節器和流量計的圖像，用於控制CO₂供應至第14圖的通透CO₂複合材料段。

【0079】 第16圖係使用第12圖埋設CO₂輸送系統22小時後的通透CO₂複合材料硬化段圖像。

【0080】 第17圖係製程流程圖，用以說明利用場鑄製程灌鑄及硬化CO₂複合材料的步驟。

【0081】 第18圖係供CO₂輸送至及通過Enkavent®材料的模具圖像。

【0082】 第19圖係用於場鑄製程的未硬化CO₂複合材料混合物圖像。

【0083】 第20圖係模具1800在鑄造CO₂複合材料及連接製程氣體管線後的圖像，用以用CO₂硬化CO₂複合材料。

【0084】 第21圖係碳化硬化後，自CO₂複合材料板坯切割的區段圖像。

【0085】 第22圖係由撓性材料製成的硬化腔室視圖。

【0086】 第23圖係安裝以構成第22圖硬化腔室的撓性材料視圖。

【0087】 第24圖係夾持方法視圖，用於將第22圖硬化腔室的撓性材料支托在剛性支撐件。

【0088】 第25圖係具有一些撓性壁和一些剛性壁的另一硬化腔室實施例視圖。

【0089】 第26圖係可配合不同硬化腔室使用的模組氣體處置系統視圖。

【0090】 第27圖係氣體處置系統的示意圖，氣體處置系統具有多個氣體輸送埠和多個氣體回收埠。

【0091】 第28圖係用於硬化腔室的電腦應用控制系統截圖，用以圖示待控制系統。

【0092】 第29圖係用於硬化腔室的電腦應用控制系統截圖，用以圖示一些受控部件及圖示如何顯示測量參數值。

【0093】 第30圖係用於硬化腔室的電腦應用控制系統截圖，該圖圖示配方畫面，其中不同週期或硬化製程步驟的參數可由使用者鍵入或呈現給使用者。

【0094】 第31圖係用於硬化操作的歷史趨勢報告截圖圖像，用以圖示曲線圖3100，其中曲線3110代表CO₂總消耗量，曲線3120代表相對溼度，曲線3130代表溫度。

【實施方式】

【0095】 本發明係關於藉由精確控制材料內或周圍大氣條件以處理或「硬化」複合材料的方法和涉及此方法的裝備。

引用併入

【0096】 本說明書指出的任何專利、專利申請案、專利公開案、期刊、書籍、發表論文或其他公開素材的全文內容以引用方式併入本文中。據稱可引用併入、但與現有定義、聲明或本文明確闡述的其他揭示素材衝突的任何素材或部分素材只合併到併入素材與本文素材間不衝突的程度。若有衝突，則待解決衝突，以利本發明做為較佳揭示。

CO₂複合材料

【0097】 本發明部分仰賴材料使用，材料在存有二氧化碳（CO₂）下硬化，CO₂可以氣態形式供應，水合形式CO₂或信具有活性（例如衍生自H₂CO₃的水溶性碳酸鹽）。製程所得硬化材料在此統稱為「CO₂複合材料」（CCM或CCMs）。各種CO₂複合材料的化學品與製備已描述於不同專利文件，包括西元2014年5月8日刊登的美國專利申請公開案第20140127450 A1號和西元2014年5月8日刊登的美國專利申請公開案第2014127458 A1號。

【0098】 CO₂複合材料可呈現美觀的視覺圖案及具有類似對應天然材料的壓縮強度、抗彎強度和吸水性。CO₂複合材料可利用高效氣體輔助水熱液相燒結（HLPS）製程，以低成本和改善很多的能量消耗與碳足跡製造。事實

上，在較佳製程實施例中， CO_2 係做為反應物種消耗，因而產生淨 CO_2 螯隔作用。

【0099】 CO_2 複合材料可製作成顯示各種圖案、紋理和其他特徵，例如不同顏色的視覺圖案。此外， CO_2 複合材料具有類似習用混凝土的壓縮強度、抗彎強度和吸水性。 CO_2 複合材料可硬化成備好在一時距內（例如小時）使用的地步，此通常已大幅縮短習用混凝土硬化所需時間（例如數天到數週）。另外， CO_2 複合材料可由節能HLP S製程製造，及以低成本製造且有利環境衝擊。例如，在本發明較佳實施例中， CO_2 做為反應物種，因而在製得 CO_2 複合材料中產生 CO_2 螯隔作用，碳足跡無任何現有製造技術所能相比。HLP S製程由化學反應的自由能熱力驅動，並降低晶體成長引起的表面能量（區域）。HLP S製程動力依合理速度在低溫下進行，此係因為使用溶液（水性或非水性）來傳輸反應物種、而非使用高熔點流體或高溫固態介質。

【0100】 各種HLP S態樣討論可參見美國專利案第8,114,367號、美國專利公開案第2009/0143211號（申請序號12/271,566）、美國專利公開案第2011/0104469（申請序號12/984,299）、美國專利公開案第20090142578（申請序號12/271,513）、WO 2009/102360（PCT/US2008/083606）、WO 2011/053598（PCT/US2010/054146）、WO 2011/090967（PCT/US2011/021623）、西元2012

年3月2日申請(Riman等人)的美國專利申請案第13/411,218號、西元2012年6月7日申請(Riman等人)的美國專利申請案第13/491,098號、西元2012年10月1日申請的美國臨時專利申請案第61/708,423號和皆於西元2012年10月4日申請的美國臨時專利申請案第61/709,435號、第61/709,453號、第61/709,461號與第61/709,476號，各文獻全文內容為所有目的以引用方式明確併入本文中。

【0101】 「速率決定步驟」一詞係指限制或控制碳化反應進行時間的一或更多步驟。

【0102】 流動係描述成速度(fps；呎/秒)或體積(cfm；立方呎/分鐘)的氣體移動速度及/或體積。

【0103】 「溫度」或「溫度範圍」一詞代表一或更多整體內部系統溫度、氣體溫度和樣品溫度。

【0104】 「相對溼度」一詞代表在某一溫度下，系統中某一氣體的水汽分壓與該氣體的水分飽和蒸汽壓的比率，此在系統各處可能不同。

【0105】 「CO₂濃度」一詞代表系統中的CO₂量除以該系統中的總氣體體積，並且以百分比表示。

【0106】 本發明思忖藉由控制複合材料乾燥速率而最大化該材料碳化速率的製程。製程可包括碳化時間為0至1000小時。製程可包括CO₂複合材料的滲透率為0%至100%。製程可包括CO₂複合材料的CCM碳化深度為0至

36 吋。製程可包括 CO_2 複合材料，其中自 CCM 移除的水量等於 CCM 質量的 0% 至 99%。

【0107】 本發明包含用於調理再循環氣流的裝備，用以硬化 CCM，及包含使用此裝備來硬化 CCM 的製程。在複合材料硬化期間，氣體調理裝備能使製程控制、減少或消除水分移除相關的速率決定步驟。裝備可包括、但不限於控制系統內的溫度、相對溼度、流率、壓力和二氧化碳濃度；系統包括調理裝備、任何容納 CCM 的容器和材料本身。流率控制可做為同時達成均勻氣體速度與組成的手段。

【0108】 裝備可包含各種子系統。子系統可包括硬化腔室、二氧化碳源、氣流子系統、溫度控制子系統、溼度控制子系統和通信連接二氧化碳源、氣流子系統、溫度控制子系統與溼度控制子系統的至少一者的控制器；及至少一控制器配置以在消耗 CO_2 做為試劑的材料硬化時，個別控制氣態二氧化碳流率、氣體循環通過硬化腔室、氣體溫度和氣體溼度的至少一者。

硬化腔室

【0109】 各種硬化腔室和設備可用於硬化 CCMs。一些硬化腔室和設備可設於永久或半永久設施，其他可使用一段時間（例如臨時安裝），一些則可使用一次（例如在如一些戶外位置現場硬化 CCM，例如硬化 CCM，以形成走道、車道、道路、跑道或結構用支撐板的板坯）。第 1 圖

及第2圖係配合使用CO₂複合材料的硬化系統實施例的示意圖。

【0110】 在一些實施例中，腔室或包體本身設計成可重複硬化製程一次或幾次，或設計成可持久重複硬化製程無限次。在一些實施例中，腔室相較於待硬化產品價值的相對成本將做為腔室或包體建構材料和方法的指南。

二氧化碳源

【0111】 二氧化碳可由任何習用源提供，以供應夠高純度的充足氣體量。在一些實施例中，二氧化碳源係由液態二氧化碳產生的氣體。在一些實施例中，二氧化碳源係高壓缸提供氣體形式的氣體。在一些實施例中，二氧化碳源係燃燒系統的流出物，流出物經處理而提供純化二氧化碳。

氣流子系統

【0112】 在一些實施例中，提供氣流子系統，以提供用於硬化CCM所需的氣體（例如CO₂、水汽、空氣和其他氣體）。氣流系統包括一或更多閥、流量調節器、質量流量控制器和鼓風機做為部件，部件適於促使氣體按預定流率（例如適當質量每單位時間）、預定壓力和預定組成（例如二氧化碳與水、空氣和其他氣體的比率或比例）流動。硬化腔室可進一步包括結構來控制硬化腔室內的流率與流向和氣體入口與出口的物理位置。

溫度控制子系統

【0113】 在一些實施例中，提供溫度控制子系統，使提供氣體具預定氣體溫度。溫度控制子系統可用於控制反應速率隨溫度變化和溫度相依的操作參數，例如相對溼度。溫度控制系統可包含一或更多加熱器、一或更多冷卻器、配置以測量某一位置的氣體溫度的一或更多感測器和配置以通信連接控制器的通信埠。在一些實施例中，通信為單向，例如控制器發送控制訊號，致使加熱器與冷卻器的至少一者運作，以控制溫度控制子系統。在其他實施例中，通信為單向，其中溫度控制系統發送代表諸如溫度與相對溼度等參數的訊號至控制器。在一些實施例中，訊號為雙向通信。

溼度控制子系統

【0114】 在一些實施例中，提供溼度控制子系統，用以控制系統所用製程氣體的相對溼度。溼度控制子系統可用於硬化製程期間，若相對溼度太低或期添加水分至CCM時，添加水汽至供給硬化腔室的製程氣體，及用於硬化製程期間，若相對溼度太高或期抽出CCM的水分時，移除自硬化腔室離開或排出的製程氣體的水汽。例如，添加水汽設備可為水源、閥和噴頭或噴嘴。在另一實施例中，添加水汽設備為蒸汽產生器。蒸汽產生器可包括潛式加熱器。在其他實施例中，使氣體汨流通過含水起泡器，藉以添加水汽。移除水分設備可為冷凍器、冷凝器或熱交換器。溼度控制子系統包括溼度感測器，用以測量氣流系統的不同位置的製程氣體相對溼度，例如製程氣體進入或離

開硬化腔室的位置，及酌情在硬化腔室或氣流子系統的其他位置。

用於控制硬化製程參數的子系統

【0115】 在一些實施例中，提供用於控制硬化製程參數的子系統（例如控制器），以控制用於硬化CCM的操作參數，包括控制製程步驟順序、時間和時序，及執行記錄硬化操作期間測量的資料。在不同實施例中，控制器通信連接二氧化碳源、氣流子系統、溫度控制子系統和溼度控制子系統的至少一者。在一些實施例中，控制器通信連接感測器，以提供製程相關資料，例如溫度、溼度、流率、氣體壓力、氣體組成等。控制器配置以在消耗CO₂做為試劑的材料硬化時，個別控制氣態二氧化碳流率、氣體循環通過硬化腔室、氣體溫度和氣體溼度的至少一者。

【0116】 通常，各子系統可提供為可再用模組，模組可操作連接至其他子系統，例如利用習用現成的機械與電子連接器。在一些實施例中，則可依特定硬化操作需求，組裝各種子系統的一或更多模組而提供完全控制與操作系統。就期反覆進行的硬化程序而言，完全控制與操作系統可提供成單元。當控制與操作系統的若干部分故障時，可用整個子系統取代故障部件而達成相當迅速修復，及在「離線」時修復該部件，例如不顯著影響特定硬化操作的硬化製程，如此可只些微偏離預期製程時間完成硬化製程。特別地，CCMs自身會導向此暫時故障修正，因為CCM於CO₂濃度大幅降低時（例如硬化氣體缺少CO₂），

將完全停止硬化。此不同於習用混凝土硬化，習用混凝土係在存有水（ H_2O ）時開始，且習用混凝土混合物一旦變溼，通常便無法中斷硬化。

【0117】 現參照第1圖，此圖係配合使用 CO_2 複合材料的硬化系統實施例的示意圖。第1圖圖示氣體調理系統102和硬化腔室120，氣體調理系統與硬化腔室由氣體輸送管140和氣體回收管142連接在一起。氣體調理系統102包括二氧化碳源、氣流子系統、溫度控制子系統、溼度控制子系統和用於控制硬化製程參數的子系統的元件。在第1圖實施例中，氣體輸送管140和氣體回收管142可為任何習用尺寸的管道，例如直徑6吋的金屬管。可依需求提供氣源（例如 CO_2 供應器130）和其他氣源（例如空氣及/或水汽）。氣體輸送及調理系統可包括控制器116，例如可程式邏輯控制器（PLC）或另一微處理器應用控制器，例如通用可程式電腦，控制器可利用記錄在機器可讀取媒體的指令集操作。如第1圖所示，典型硬化腔室120包括充氣室122，充氣室配置以利用一或更多位置提供氣體大氣，氣體可由此注入硬化腔室而於硬化腔室120的不同部分產生具預定性質的氣流124，例如流速或流型。在一些實施例中，硬化腔室和包體一樣簡單含有待處理CCM與製程氣體和入口與出口供氣體引入及依需求移除。系統的附加細節將描述於後。

【0118】 第2圖係配合使用 CO_2 複合材料的替代硬化系統實施例的示意圖。第2圖所示許多部件可和第1圖所

示部件一樣，但尚有附加或不同部件。例如，第1圖與第2圖的實施例均使用一些熱耦或其他溫度感測器（104、104'、104''、104'''，統稱為溫度感測器104）和複數個相對溼度感測器（106、106'，統稱為相對溼度感測器106），例如利用二氧化碳與水汽溫差溼度比率的乾濕球感測器、或偶極子極化水汽測量儀器、或冷凍鏡溼度計或電容溼度感測器。

【0119】 如第2圖所示，CO₂供應器130由不同流動控制路徑連接至CO₂入口，例如在如淨化循環時提供高流率的閥210、212、214，或由閥220、222、流量控制器224和用於更精確控制流率的閥226（通常流率小於淨化循環所用流率）。在第2圖所示實施例中，用於連接氣體調理系統102的配管大於第1圖所示系統所用配管。例如，配管可為8吋管。另一差異為用於加熱供給硬化腔室的氣體的加熱器尺寸，在第1圖中，加熱器為6個1.3千瓦（kW）加熱器（114），第2圖的加熱系統則包括18個1.8千瓦加熱器（214）。應理解在任何特定系統中，不同部件的精確容量大小將按硬化腔室120擬定硬化的材料量製作。

【0120】 控制器116可接收溫度感測器104和相對溼度感測器106的資料，及雙向通信連接（例如取得資料及發送命令至）閥、冷凍器（或冷卻器）110、冷凍器（或冷卻器）熱交換器112、鼓風機108、加熱器（114、214）和CO₂供應器130，以隨時間執行記錄資料、作出硬化腔

室 120 的負載硬化狀態相關決定，及採取校正或預定動作而控制硬化製程。控制器 116 亦可接收使用者命令、呈現資訊給使用者及記錄資料與不時發出的命令，以產生機器可讀取形式的硬化製程紀錄供後續使用。

硬化腔室中的氣流

【0121】 在不同實施例中，硬化腔室中的氣流可包括氣體流到主體外面、氣體流到主體內部、氣體流過多孔或通透主體或上述氣流組合。氣體輸送系統包括氣體輸送管 140、氣體回收管 142 和充氣室 122，充氣室可呈許多形式。在一些實施例中，充氣室 122 將氣體引導至 CO₂ 複合材料坯體外側。在其他實施例中，充氣室 122 將氣體引導至 CO₂ 複合材料坯體的內部通道或開口。在又一些其他實施例中，充氣室 122 將氣體引導至 CO₂ 複合材料坯體外側及至內部通道或開口。

內部氣體輸送系統

【0122】 此類氣體輸送系統包含具特定間隔與尺寸的相連網格配管，用以輸送氣體或流體通過分布遍及配管系統的一連串孔洞而至周圍 CO₂ 複合材料主體。接著調節氣體供應（包括二氧化碳），以匹配或近乎匹配 CO₂ 複合材料的 CO₂ 滲隔率。此法能快速硬化 CO₂ 複合材料段。在典型內部氣體輸送系統中，硬化後，配管系統仍埋藏在 CO₂ 複合材料樣品內。配管系統另可當作強化手段，及透過壓縮空氣或水回洗技術提供清洗或維護 CO₂ 複合材料的能力。

【0123】 此方式的一些益處包括、但不限於縮短硬化時間、減少場鑄 CO_2 複合材料應用相關碳足跡，且因能回洗通透 CO_2 複合材料碎屑及存有強化網格，故可改善通透 CO_2 複合材料段使用壽命。在區域可使用前，灌鑄通透混凝土與波特蘭水泥基系統的標準實作需要7-28天硬化期。利用氣體輸送系統，可在短短一天內達成 CO_2 複合材料的最終強度。在下述試驗中， CO_2 供應調節成1.7公斤/小時。經22小時後，相對 CO_2 複合材料碳化位勢，所得碳化程度為40%。此相當於43%的 CO_2 效率。依據此資料可控制氣體供應速率，以匹配 CO_2 複合材料的滲隔率，進而改善 CO_2 使用效率及最佳化進行硬化製程所需時間。

【0124】 現將敘述用於硬化細長試樣的內部氣體輸送系統實施例，例如鐵道枕木。

【0125】 第3圖係適於硬化細長 CO_2 複合材料試樣的硬化腔室的透視圖。第3圖的硬化腔室具有撓性壁310，撓性壁由框架構件320支撐。撓性壁310可藉由使用重物或利用磁條與磁性框架構件關閉。其他撓性壁系統將詳述於後。

【0126】 第4圖係第3圖硬化腔室含有待硬化細長 CO_2 複合材料試樣410（鐵道枕木）的視圖。

【0127】 第5圖係第3圖硬化腔室關閉以進行硬化的視圖。撓性壁310在此視圖為完全展開。

【0128】 採用第3圖至第5圖所示系統時，製程氣體供應至至少一內部口孔，內部口孔橫跨待硬化CCM的長

度。接著由坯體內側往外側進行硬化。取得此硬化製程的資料。

【0129】 第6圖係充氣室圖像，用以輸送硬化大氣至具內部圓形流道的 CO_2 複合材料樣品。從第6圖可知，充氣室610係圓形剖面管，且可設置流體連通待硬化 CO_2 複合材料樣品的圓形流道。

【0130】 第7圖係 CO_2 複合材料樣品700的圖像，此樣品係利用內部圓形流道710流動與樣品外面氣流而硬化。從第7圖可知，樣品700具有硬化圓形區720、硬化矩形周邊區730和在硬化區720與730間的未硬化區740。此證實從利用內部製程氣流內側往利用樣品外面氣流外側硬化CCM的能力。

【0131】 第8圖係圖像，用以說明反應深度差異隨流率的變化。從第8圖清楚可知，針對檢驗幾何形狀，在相同時距內，流率越高將造成越大的硬化深度。

【0132】 第9圖係圖表，用以說明在系統中使用1個風扇與3個風扇硬化時，反應深度、氣流（立方呎每分鐘）和自 CO_2 複合材料試樣移除水量的差異。當提供更大的反應氣體移動力時，反應深度、氣流（立方呎每分鐘）和自 CO_2 複合材料試樣移除水量皆增加。

【0133】 第10圖係圖表，此圖顯示水分移除速率隨具不同相對溼度的氣體流率變化的資料。從第10圖可知，採取高流率和低相對溼度會提高樣品的水分移除速率。咸

信 C C M 與 C O₂ 反應優先在 水分飽和 C C M 接觸氣態 C O₂ 的界面發生，故快速移除水分將與加快硬化速率相關聯。

實例 - 現場硬化通透 C O₂ 複合材料

【0134】 第11圖至第16圖圖示現場硬化通透 C O₂ 複合材料的製程。此安裝在地面上的大樓一側。此係戶外場鑄應用的使用實例。

【0135】 第11圖係製程流程圖，用以說明在戶外灌鑄及硬化複合材料的製程步驟。製程可分成數個步驟。在步驟1110中，製備區域，供 C O₂ 複合材料安裝及硬化。此可包括開挖、築平及定線外形等。在步驟1120中，澆注或安裝第一層通透 C O₂ 複合材料。安裝 C O₂ 複合材料的作業包括視 C O₂ 複合材料配方或混合物加工性而定，利用任一或更多鑄造、澆注、振動、沖壓等，形成待硬化主體。

【0136】 在步驟1130中，安置或安裝氣體輸送結構，在一些實施例中，氣體輸送結構為壁面具有孔洞的管子或配管。第12圖係穿孔 P V C 網格1210的圖像，用以輸送氣體至通透 C O₂ 複合材料的場鑄段。圖中還可看到第一待硬化材料層1220和氣體連接點1230。

【0137】 在步驟1140中，澆注或安裝第二層（最後一層）通透 C O₂ 複合材料至氣體輸送結構上面。第13圖係將通透 C O₂ 複合材料1310澆注到第12圖氣體輸送系統1210上面的圖像。然應理解將氣體輸送結構和待硬化材料安裝於預定位置可按任何順序進行，包括先將氣體輸送

結構安置在適當位置，隨後再灌鑄待硬化材料，或者先灌鑄待硬化材料，再安裝氣體輸送結構。

【0138】 在步驟1150中，例如用帆布（tarp）覆蓋安裝材料，及安裝氣體管線。第14圖係覆蓋上塑膠布1410的通透CO₂複合材料段圖像，此段具有CO₂入口1420連接至氣體連接點1230。

【0139】 使安裝混合物硬化前，需利用一或更多空氣乾燥、排水或氣體再循環調理來乾燥或移除未硬化CO₂複合材料的過量水分，使材料達適當條件而開始硬化製程。在一些實施例中，需添加水分至未硬化CO₂複合材料的乾混合物。

【0140】 在步驟1160中，供應氣體，使CO₂複合材料硬化。第15圖係氣流調節器和流量計的圖像，用於控制CO₂供應至第14圖的通透CO₂複合材料段。第15圖圖示高壓調節器1510、低壓調節器1520、氣體輸送配管1530、CO₂質量流量計1540和CO₂質量流量計數顯裝置1550。

【0141】 第16圖係使用第12圖埋設CO₂輸送系統22小時後的通透CO₂複合材料硬化段圖像。

【0142】 在一些實施例中，感測器設在待硬化CO₂複合材料體積內，故可在硬化製程期間監測操作參數。此類感測器通常為犧牲或「一次性使用感測器」，因為在CO₂複合材料硬化後，感測器通常不會移出回收，而是永久固定於CO₂複合材料。

實例：場鑄硬化系統

【0143】 場鑄硬化系統涉及在無任何密封容器下碳化 CO_2 複合材料的系統和方法。「場鑄」硬化技術涉及使用透氣阻障層，讓 CO_2 擴散通過 CO_2 複合材料的鑄造段。此程序能快速產生強度及永久螫隔二氧化碳氣體，從而減少場鑄混凝土應用相關碳足跡。比起所有先前碳化硬化技術，此製程不需使用控溫或密封容器，故較不耗能。首次證實利用所述場鑄技術與緻密 CO_2 複合材料，可達成有效強度（+2000磅/平方吋）。

【0144】 CO_2 複合材料已由「由下往上」碳化硬化製程碳化。此試驗涉及在未使用密封容器下成功碳化而製造壓縮強度超過2000磅/平方吋的 CO_2 複合材料板坯。

【0145】 使用Enkavent®材料形成透氣層，以提供大 CO_2 輸送表面，供場鑄系統碳化。

【0146】 第17圖係製程流程圖，用以說明利用場鑄製程灌鑄及硬化 CO_2 複合材料的步驟。在步驟1710中，將材料置於待灌鑄及硬化 CO_2 複合材料的位置，以製備具可滲透塗層的Enkavent®層。在步驟1720中，澆注（或灌鑄）待場鑄 CO_2 複合材料。在步驟1730中，連接硬化系統氣體管線，使之流體連通Enkavent®層。在步驟1740中，開始使氣體流入Enkavent®層。在步驟1750中，供應 CO_2 氣體，以硬化 CO_2 複合材料，計足以達到預定硬化效果的時間。

【0147】 第18圖係供CO₂輸送至及通過Enkavent®材料的模具1800的圖像，其中框架1810配置以容納預定尺寸與形狀的CO₂複合材料。從第18圖可知，模具1800具有氣體輸送管線1840，用以在多孔篩1830下方引入製程氣體，多孔篩支撐Enkavent®材料層1820。Enkavent®材料可取自Enka Geomatrix Systems（此為位於美國北卡羅來納州Enka的BASF公司的部門）和家族企業Colbond公司。Enkavent®材料更詳述於美國專利案第4,212,692號、美國專利案第5,960,595號和美國專利案第6,487,826號。CO₂複合材料設置鄰接Enkavent®材料。

【0148】 第19圖係用於場鑄製程的未硬化CO₂複合材料混合物圖像。

【0149】 第20圖係模具1800在鑄造CO₂複合材料及連接製程氣體管線後的圖像，用以用CO₂硬化CO₂複合材料。

【0150】 第21圖係碳化硬化後，自CO₂複合材料板坯切割的區段2110的圖像。

撓性壁硬化腔室

【0151】 第22圖至第24圖圖示另一種用於硬化CO₂複合材料試樣的硬化腔室。此腔室由撓性材料製成，例如塑膠片材，以形成具撓性壁的腔室。在一較佳實施例中，撓性材料塗覆反射層，例如鋁，以便反射紅外線輻射。類似材料常用於人類救援行動用毛毯或雨披，或讓馬拉松選

手在比賽結束後更易保持體熱。在下述實施例中，壁面設置以容納氣體，氣體用於硬化置於腔室內的 CO_2 複合材料試樣，如此可控制氣體性質，例如組成、溫度、相對溼度和流率。在一些實施例中，感測器設在腔室內，以於硬化操作期間提供氣體性質與腔室條件相關資料。

【0152】 第22圖係由撓性材料2210製成的硬化腔室2200的視圖，硬化腔室由夾持系統附接至剛性基底2220。在一實施例中，撓性材料係金屬化塑膠片。其他可當作撓性材料的材料為Mylar®和乳膠。

【0153】 第23圖係安裝以構成第22圖硬化腔室的撓性材料視圖。

【0154】 第24圖係夾持方法視圖，用於將第22圖硬化腔室的撓性材料支托在剛性支撐件。如第24圖所示，剛性基底2410和撓性片2420由剛性桿2430與夾具2440連接。在所示實施例中，剛性桿2430具有方形或矩形截面。在一些實施例中，可變形墊片2450放置在剛性基底2410與撓性片2420的配合面之間，以提供更高氣密性。墊片2450可為任何與硬化氣體化學相容的材料，且夠柔軟，以當壓縮剛性基底2410與撓性片2420的配合面時，將構成實質氣密密封。可做為墊片的材料實例為閉孔塑膠發泡片和黏稠液體，例如石油系凝膠。在其他實施例中，流道設在剛性基底2410與撓性片2420的配合面所在位置，流道填充與硬化大氣相容的液體，例如水。

【0155】 第25圖係硬化腔室2500的另一實施例視圖，硬化腔室具有一些撓性壁2510和一些剛性壁2520。在第25圖所示實施例中，口孔2530覆蓋上可讓預定光譜區穿透的材料，例如可見光或紅外線，如此可進行目測或儀器應用電磁輻射觀測，例如光學高溫測定或氣流或氣體組成測量。配件2540用於連接前述氣體調理系統102（例如配件2540用於連接氣體輸送管140與氣體回收管142之一）。

模組氣體處置系統

【0156】 第26圖係可配合不同硬化腔室使用的模組氣體處置系統視圖。

【0157】 第27圖係氣體處置系統2710的示意圖，氣體處置系統具有多個氣體輸送埠2730、2730'、2730"和多個氣體回收埠2740、2740'、2740"，系統由此流體連通硬化腔室2720。第27圖的模組氣體處置系統可視為多個第26圖的模組氣體處置系統在控制器控制下平行運作。第27圖的模組氣體處置系統可用於提供個別控制流率、氣體組成和氣體溫度的氣流，故可提供及控制針對單一硬化腔室特定區域修改的氣流。若有需要，可提供多組感測器，以個別監測及控制各氣流。

電腦應用控制系統

【0158】 為更方便控制硬化系統操作，乃提供至少一控制器通信連接二氧化碳源、氣流子系統、溫度控制子系統和溼度控制子系統的至少一者。至少一控制器配置以在消

耗 CO_2 做爲試劑的材料硬化時，個別控制供給硬化腔室的氣體組成、二氧化碳流率、氣體循環通過硬化腔室或待硬化 CCM 的速率或速度、氣體循環通過硬化腔室的方向、氣體溫度和氣體溼度的至少一者。

【0159】 在一較佳實施例中，控制器係通用電腦且受指令集控制操作，指令集記錄在機器可讀取媒體或類似電子裝置，此將進一步詳述於後。在一些實施例中，操作員可超控控制器或提供控制器依操作員指示執行的特殊指令來控制硬化製程的一些（或所有）操作。例如，與架設硬化腔室、裝入待硬化 CCM 材料、硬化循環結束時卸下硬化材料等有關的一些硬化製程步驟在操作人員控制下將更方便進行。在許多情況下，操作人員可考量 CCM 材料本身的變異，且較預置控制器更易進行機械處置。完成預備步驟後，操作人員可改成由控制器控制製程，控制器控制硬化進行過程。使用控制器的另一優點爲控制器可記錄及產生設成目標的操作參數日誌，及記錄硬化製程期間測量的對應實際參數，藉由再程式化指令來控制特定製程，使實際測量操作參數更接近設定目標值，可隨時間提高硬化製程的精確度。熟知的控制改善實例爲在試圖設定參數變化經一時距後最終達穩態，同時致力於當接近預定穩態值，最小化低越量（值太小）和超越量（值太大）時，利用比例 - 積分 - 微分（P - I - D）控制。

【0160】 第28圖係用於硬化腔室的電腦應用控制系統截圖，用以圖示待控制系統。第28圖圖示硬化腔室

2810、氣體處置系統2820的部件、複數個資料視窗2830，用於顯示製程參數，例如氣體組成、溫度、壓力、相對溼度、風速或即時流率（例如隨製程進行的實質當時現行時間）、示意CO₂源2840與相連閥及示意水/水汽源2850。

【0161】第29圖係用於硬化腔室的電腦應用控制系統截圖，用以圖示一些受控部件及圖示如何顯示測量參數值。所示截圖為診斷面板，用於顯示諸如鼓風機、加熱器、閥等不同部件的狀態2910、各種操作參數的預定或預置值2920，例如溫度、相對溼度、CO₂百分比等。不同感測器提供當前測量值2930，顯示列2940顯示監測步驟（在此為「淨化」）和一些控制參數。不同製程步驟有不同的顯示診斷資訊。

【0162】第30圖係用於硬化腔室的電腦應用控制系統截圖，該圖圖示配方畫面，其中不同週期或硬化製程步驟的參數可由使用者鍵入或呈現給使用者。由圖可知，配方畫面用於鍵入具預定操作參數的個別步驟3010。一組「按鈕」3020設置供使用者便於選擇硬化操作的不同部分，例如控制氣體組成（例如標為「CO₂ control」的按鈕）、相對溼度條件（例如標為「RH control」的按鈕）、控制器自身操作（例如標為「PID control」的按鈕）和許多其他參數。亦設有按鈕將配方儲存於機器可讀取媒體或記憶體、或自記憶體喚回先前儲存配方。在一些實施例

中，可使用指向裝置，例如滑鼠。在一些實施例中，鍵盤、數字小鍵盤及/或「螢幕」鍵盤可用於鍵入資料或命令。

【0163】 第31圖係用於硬化操作的歷史趨勢報告截圖圖像，用以圖示曲線圖3100，其中曲線3110代表CO₂總消耗量，曲線3120代表相對溼度，曲線3130代表溫度。
定義

【0164】 除非另外指明，否則任何指稱電子訊號或電磁訊號（或其均等物）據悉係指非揮發性電子訊號或非揮發性電磁訊號。

【0165】 記錄操作或資料取得結果，例如在特定頻率或波長下記錄結果據悉意指並定義為以非暫時性方式將輸出資料寫入儲存元件、機器可讀取儲存媒體或儲存裝置。本發明可用的非暫時性機器可讀取儲存媒體包括電子、磁性及/或光學儲存媒體，例如磁性軟碟與硬碟；DVD磁碟機、CD磁碟機，在一些實施例中可採用DVD光碟、任何CD-ROM光碟（即唯讀光碟）、CD-R光碟（即寫一次讀多次型光碟）和CD-RW光碟（即可複寫光碟）；和電子儲存媒體，例如RAM、ROM、EPROM、CF卡、PCMCIA卡、或SD或SDIO記憶體；及電子部件（例如軟碟機、DVD磁碟機、CD/CD-R/CD-RW磁碟機或CF/PCMCIA/SD接頭），用於應接並讀取及/或寫入儲存媒體。除非另外指明，否則任何指稱「紀錄」或「記錄」據悉係指非暫時性紀錄或非暫時性記錄。

【0166】 如熟諳機器可讀取儲存媒體領域者所知悉，新媒體和資料儲存格式不斷提出，市售儲存媒體與未來可取得的相應讀/寫裝置都可能適用，特別係若能提供更大儲存容量、更快存取速度、更小尺寸或每儲存資訊位元成本更低時。某些情況亦可使用熟知的舊機器可讀取媒體，例如打孔紙帶或卡片、磁性記錄磁帶或線路、光學或磁性讀取印刷字元（例如OCR與磁性編碼符號）和機器可讀取符號，例如一維與二維條碼。可記錄影像資料供後續使用（例如將影像寫入記憶體或數位記憶體），使記錄資訊得做為輸出、呈現給使用者的資料或可供後續使用的資料。數位記憶元件或晶片可為獨立的記憶裝置，或可併入預定裝置。「寫入輸出資料」或「將影像寫入記憶體」在此定義為包括將轉換資料寫入微電腦內的暫存器。

【0167】 「微電腦」在此定義為與微處理器、微控制器和數位訊號處理器（DSP）同義。應理解微電腦所用記憶體，包括如編碼成「韌體」的資料處理指令可常駐於實體設在微電腦晶片內的記憶體或外接微電腦的記憶體、或內設與外接記憶體組合。同樣地，類比訊號可由獨立的類比與數位轉換器（ADC）、或一或更多ADC數位化，或者多工ADC通道可常駐於微電腦程式包。亦應理解場可程式閘陣列（FPGA）晶片或特殊應用積體電路（ASIC）晶片可以硬體邏輯、微電腦軟體仿效或結合二者的方式執行微電腦功能。具本發明所述任何特徵結構的設備可全在一個微電腦中操作，或可包括一個以上的微電腦。

【0168】 根據本發明，用於控制儀器、記錄訊號及分析訊號或資料的通用可程式電腦可為任何個人電腦（PC）、微處理器應用電腦、可攜式電腦或其他類型的處理裝置。通用可程式電腦一般包含中央處理單元、利用機器可讀取儲存媒體來記錄及讀取資訊與程式的儲存或記憶單元、通信終端機（例如有線通信裝置或無線通信裝置）、輸出裝置（例如顯示終端機）和輸入裝置（例如鍵盤）。顯示終端機可為觸控螢幕顯示器，在此情況下，此可兼作顯示裝置與輸入裝置。可存有不同及/或附加輸入裝置，例如指向裝置，例如滑鼠或搖桿，可存有不同或附加輸出裝置，例如發聲器，例如揚聲器、第二顯示器或印表機。電腦可執行任一種操作系統，例如任一版本的 Windows 或 MacOS 或 UNIX 或 Linux。通用電腦運作所得運算結果可儲存供後續使用，及/或可呈現給使用者。最起碼，各微處理器應用通用電腦具有暫存器，用以將各運算步驟結果儲存於微處理器，結果通常接著儲存於高速緩衝記憶體供後續使用，使結果得以顯示、記錄在非揮發性記憶體或用於進一步資料處理或分析。

理論探討

【0169】 雖然本文給予的理論描述認為是正確的，但本文所述及主張的裝置操作並不依賴理論描述的正确性或有效性。即，即使可依據解釋觀察結果的後來理論發展不同於本文所述理論，也無損本發明。

【0170】 雖然本發明已特別參照圖示較佳模式描述如上，但應理解熟諳此技術者在不脫離本發明的精神和範圍內，當可改變各種細節，本發明的保護範圍以申請專利範圍所界定者為準。

【符號說明】

【0171】

102 氣體調理系統

104、104'、104''、104'''、104''''、106、106' 感測器

108 鼓風機

110 冷凍器

112 熱交換器

114 加熱器

116 控制器

120 硬化腔室

122 充氣室

124 氣流

130 CO₂供應器

140 氣體輸送管

142 氣體回收管

210、212 閥

214 閥/加熱器

220、222、226 閥

224 流量控制器

3 1 0 撓性壁

3 2 0 框架構件

4 1 0 試樣

6 1 0 充氣室

7 0 0 樣品

7 1 0 流道

7 2 0 圓形區

7 3 0 周邊區

7 4 0 未硬化區

1 1 0 0 流程圖

1 1 1 0 、 1 1 2 0 、 1 1 3 0 、 1 1 4 0 、 1 1 5 0 、 1 1 6 0 步驟

1 2 1 0 網格

1 2 2 0 材料層

1 2 3 0 連接點

1 3 1 0 通透 CO_2 複合材料

1 4 1 0 塑膠布

1 4 2 0 CO_2 入口

1 5 1 0 、 1 5 2 0 調節器

1 5 3 0 氣體輸送管道

1 5 4 0 流量計

1 5 5 0 數顯裝置

1 7 0 0 流程圖

1 7 1 0 、 1 7 2 0 、 1 7 3 0 、 1 7 4 0 、 1 7 5 0 步驟

1 8 0 0 模具

- 1 8 1 0 框 架
- 1 8 2 0 材 料 層
- 1 8 3 0 多 孔 篩
- 1 8 4 0 氣 體 輸 送 管 線
- 2 1 1 0 區 段
- 2 2 0 0 硬 化 腔 室
- 2 2 1 0 撓 性 材 料
- 2 2 2 0 基 底
- 2 4 1 0 基 底
- 2 4 2 0 撓 性 片
- 2 4 3 0 剛 性 桿
- 2 4 4 0 夾 具
- 2 4 5 0 墊 片
- 2 5 0 0 硬 化 腔 室
- 2 5 1 0 撓 性 壁
- 2 5 2 0 剛 性 壁
- 2 5 3 0 口 孔
- 2 5 4 0 配 件
- 2 7 1 0 氣 體 處 置 系 統
- 2 7 2 0 硬 化 腔 室
- 2 7 3 0 、 2 7 3 0 ' 、 2 7 3 0 " 氣 體 輸 送 管
- 2 7 4 0 、 2 7 4 0 ' 、 2 7 4 0 " 氣 體 回 收 管
- 2 8 1 0 硬 化 腔 室
- 2 8 2 0 氣 體 處 置 系 統

2 8 3 0 資 料 視 窗

2 8 4 0 C O ₂ 源

2 8 5 0 水 / 水 汽 源

2 9 1 0 狀 態

2 9 2 0 預 定 值

2 9 3 0 測 量 值

2 9 4 0 顯 示 列

3 0 1 0 步 驟

3 0 2 0 按 鈕

3 1 0 0 曲 線 圖

3 1 1 0 、 3 1 2 0 、 3 1 3 0 曲 線

【生物材料寄存】

【 0 1 7 2 】 國內寄存資訊 (請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

【 0 1 7 3 】 國外寄存資訊 (請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記)

無

【序列表】(請換頁單獨記載)

無

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種控制器，包含：

一微處理器，配置以在受到一指令集控制下操作，該指令集記錄在一第一機器可讀取媒體，當依據該指令集操作時，該微處理器進行下列步驟：

控制一二氧化碳源、一氣流子系統、一溫度控制子系統和一溼度控制子系統的至少一者的操作；

開始流入含二氧化碳的一製程氣體，以接觸待與該製程氣體中的該二氧化碳反應而硬化的一材料；

當提供該製程氣體時，監測選自由從該開始流入步驟起的一經過時間、一二氧化碳濃度、一相對溼度、一流率、一溫度和該製程氣體的一壓力所組成參數群組的至少一參數；及

進行下列至少一者：記錄該等監測參數的至少一參數、將該等監測參數的該至少一參數傳送到一資料處置系統、或對一使用者顯示該等監測參數的該至少一參數；及

測定待與該二氧化碳反應而硬化的該材料的一硬化狀態。

【第2項】 如請求項1所述之控制器，其中該氣流子系統包含：

一閥、一流量調節器、一質量流量控制器、一鼓風

機和一氣體輸送結構的至少一者；

該氣流子系統配置以提供該製程氣體，該製程氣體包含二氧化碳做為一試劑並流體接觸待與該二氧化碳反應而硬化的該材料。

【第3項】 如請求項1所述之控制器，其中該溫度控制子系統包含：

一加熱器與一冷卻器的至少一選定者，該溫度控制子系統配置以控制含二氧化碳的該製程氣體的一溫度，以在接觸待與該製程氣體中的該二氧化碳反應而硬化的該材料之前，致使該製程氣體達一預定溫度。

【第4項】 如請求項1所述之控制器，其中該溼度控制子系統包含：

一水汽源與一水汽移除設備的至少一選定者，該溼度控制子系統配置以控制含二氧化碳的該製程氣體的一溼度，以在接觸待與該製程氣體中的該二氧化碳反應而硬化的該材料之前，致使該製程氣體達一預定溼度。

【第5項】 如請求項1所述之控制器，其中當依據該指令集操作時，該微處理器進行自一外部來源接收一開始命令的步驟。

【第6項】 如請求項1所述之控制器，其中當依據該指令集操作時，該微處理器進行在解除該製程氣體接觸

待與該二氧化碳反應而硬化的該材料時，監測至少一參數的步驟，該至少一參數選自由一二氧化碳濃度、一相對溼度、一流率、一溫度、一壓力和該製程氣體的一流入時間所組成的參數群組。

【第7項】 如請求項1所述之控制器，其中當依據該指令集操作時，該微處理器進行監測至少一參數的步驟，該至少一參數選自由在一硬化腔室的一或更多位置的一二氧化碳濃度、一相對溼度、一流率、一溫度和一壓力所組成的參數群組。

【第8項】 如請求項1所述之控制器，其中除了包含二氧化碳做為一試劑的該製程氣體，該氣流子系統還與空氣和水汽相容。

【第9項】 如請求項1所述之控制器，其中該氣體輸送結構係一透氣層，該透氣層設置鄰接待與該二氧化碳反應而硬化的該材料。

【第10項】 一種場鑄方法，包含下列步驟：

製備一位置，供待與一製程氣體中的二氧化碳反應而硬化的一材料灌鑄；

把一製程氣體輸送結構和待與二氧化碳反應而硬化的該材料放到製備的該位置；及

利用該製程氣體輸送結構，提供該製程氣體至該待硬化材料，計足使該待硬化材料硬化的一段時間；及

測定待與該二氧化碳反應而硬化的該材料的一硬化狀態。

【第11項】 如請求項10所述之場鑄方法，其中在該硬化製程完成後，該製程氣體輸送結構仍帶有該待硬化材料。

【第12項】 一種硬化系統，用於硬化待與二氧化碳反應而硬化的一材料，該硬化系統包含：

一氣體調理系統和一硬化腔室，該氣體調理系統與該硬化腔室由一氣體輸送管和一氣體回收管連接在一起，該硬化腔室配置以容納待與二氧化碳反應而硬化的該材料；

該氣體調理系統包括一二氧化碳源、一氣流子系統、一溫度控制子系統、一溼度控制子系統和用於控制硬化製程參數的一子系統；

用於控制硬化製程參數的該子系統包含一控制器，該控制器包含一微處理器，該微處理器配置以在受到一指令集控制下操作，該指令集記錄在一第一機器可讀取媒體，以控制待與二氧化碳反應而硬化的該材料的一硬化製程。

【第13項】 如請求項12所述之用於硬化待與二氧化碳反應而硬化的一材料的該硬化系統，其中該硬化腔室包含：

一包體，定義一封密容積，該包體包含一壁面，該壁面配置以容納待與一製程氣體中的二氧化碳反應而硬化的該材料，該包體包含一可關閉開口，該可關閉開口配置使該待硬化材料得引入該包體；

一入口埠，配置使含二氧化碳的該製程氣體進入該包體；及

一出口埠，配置使該製程氣體離開該包體。

【第14項】 如請求項13所述之用於硬化待與二氧化碳反應而硬化的一材料的該硬化系統，進一步包含一充氣室，位於該包體內，該充氣室配置以利用一或更多位置提供該製程氣體，該製程氣體可由該一或更多位置注入該包體。

【第15項】 如請求項13所述之用於硬化待與二氧化碳反應而硬化的一材料的該硬化系統，其中該氣流子系統包含：

一閥、一流量調節器、一質量流量控制器、一鼓風機和一氣體輸送結構的至少一者；

該氣流子系統配置以提供該製程氣體，該製程氣體包含二氧化碳做為一試劑並流體接觸待與該二氧化碳反應而硬化的該材料。

【第16項】 如請求項12所述之用於硬化待與二氧化碳反應而硬化的一材料的該硬化系統，其中該溫度控

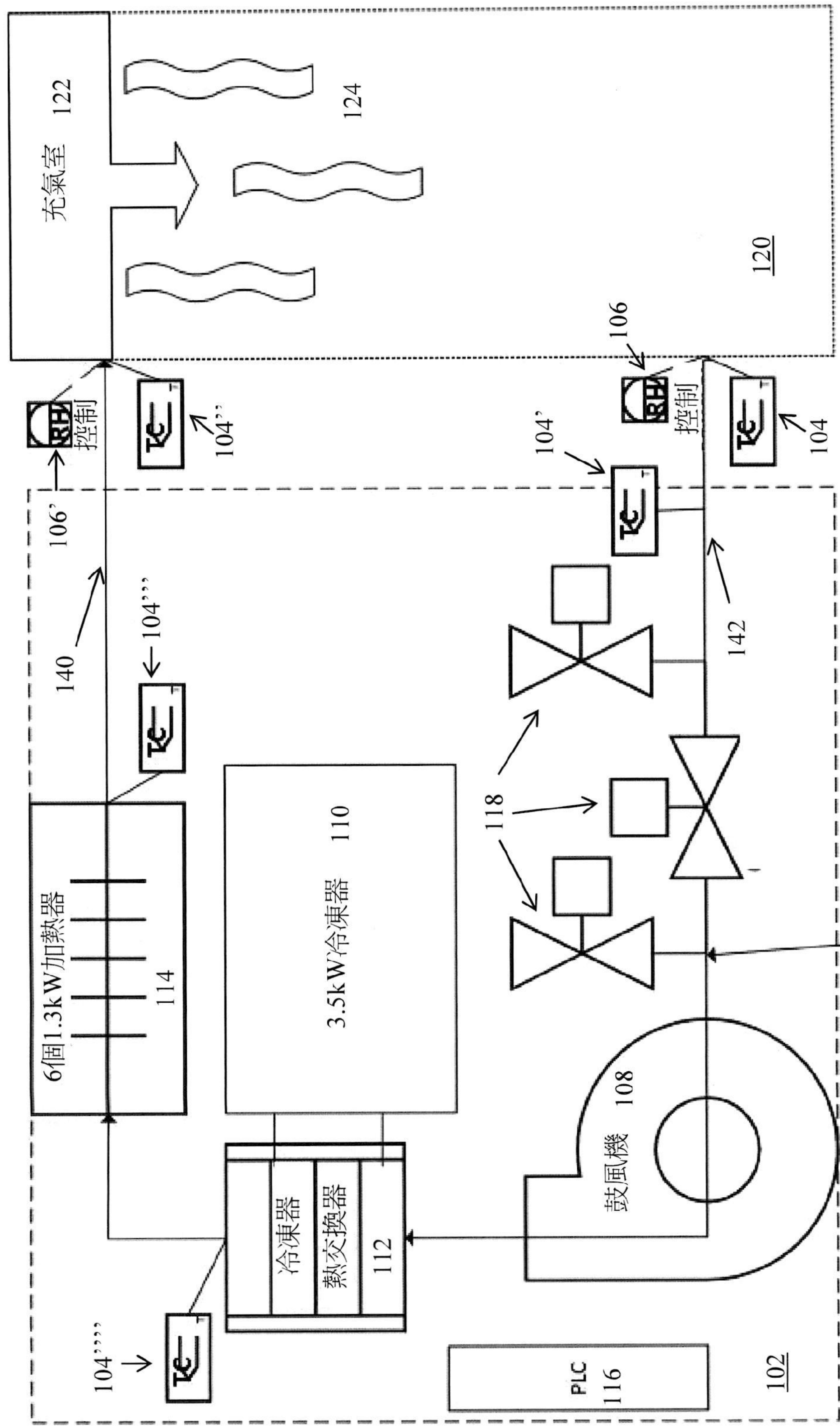
制子系統包含：

一加熱器與一冷卻器的至少一選定者，該溫度控制子系統配置以控制含二氧化碳的該製程氣體的一溫度，以在接觸待與該製程氣體中的該二氧化碳反應而硬化的該材料之前，致使該製程氣體達一預定溫度。

【第17項】 如請求項12所述之用於硬化待與二氧化碳反應而硬化的一材料的該硬化系統，其中該溼度控制子系統包含：

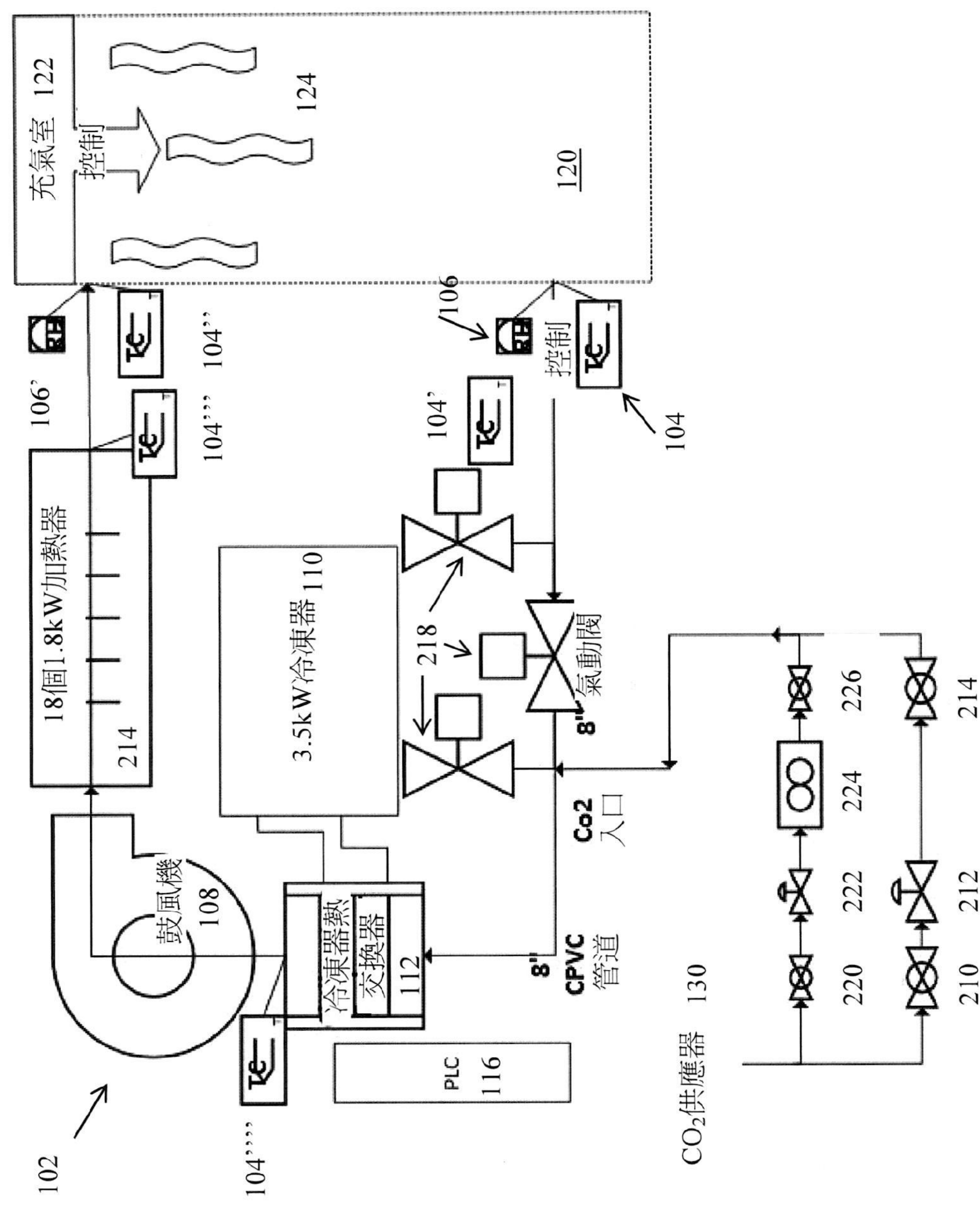
一水汽源與一水汽移除設備的至少一選定者，該溼度控制子系統配置以控制含二氧化碳的該製程氣體的一溼度，以在接觸待與該製程氣體中的該二氧化碳反應而硬化的該材料之前，致使該製程氣體達一預定溼度。

圖式

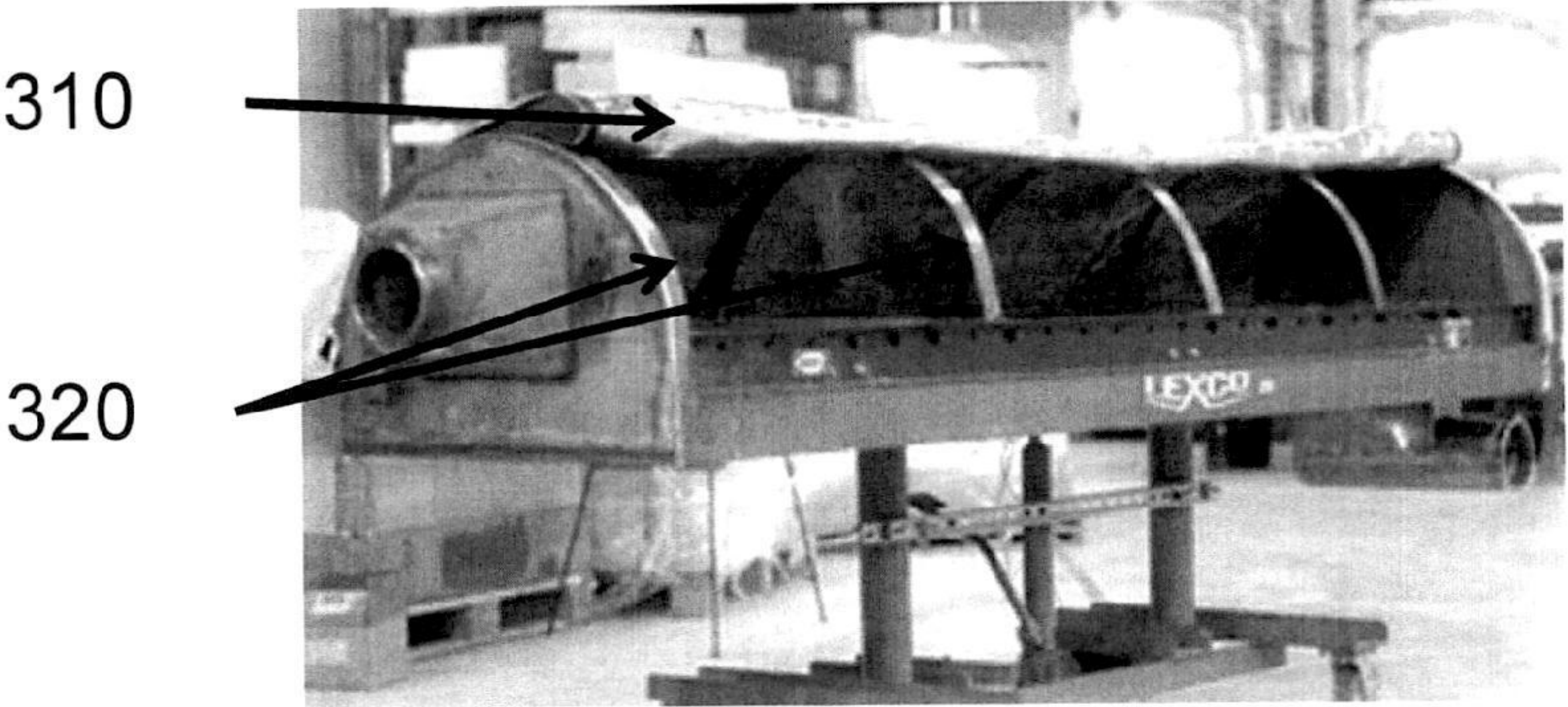


第1圖

CO₂供應器 130



第2圖

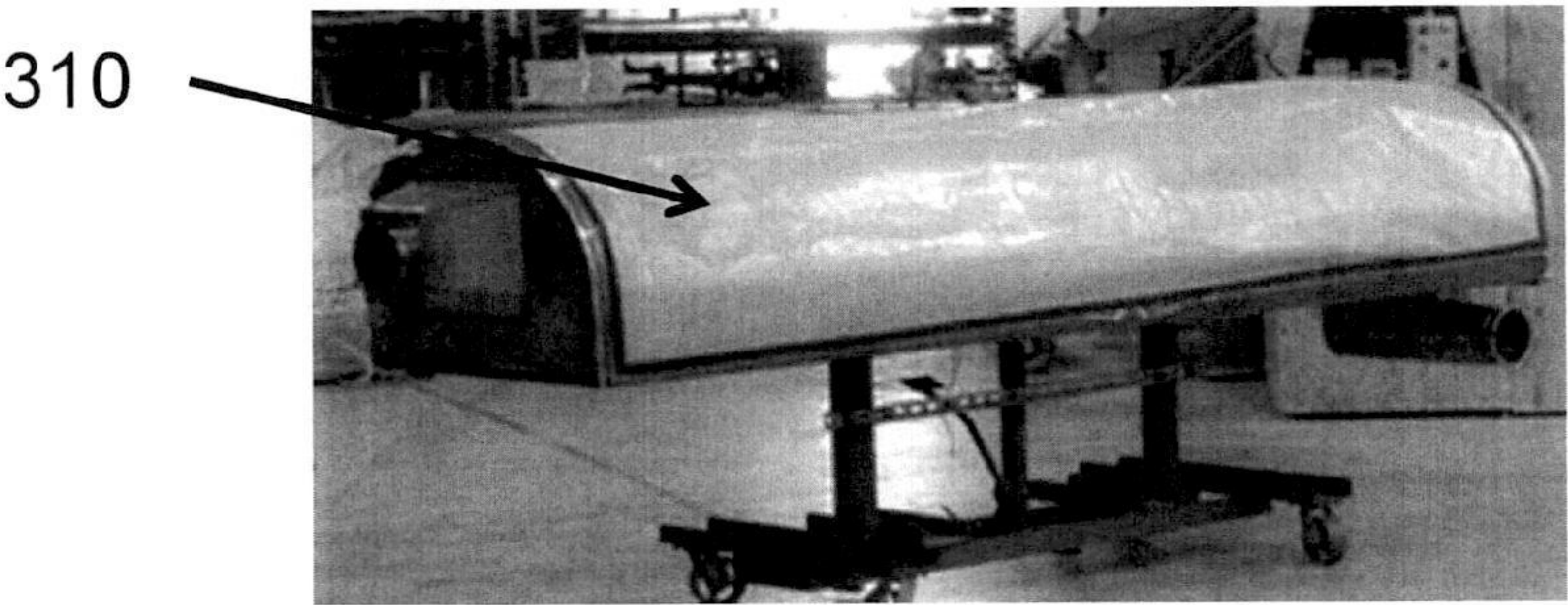


第3圖

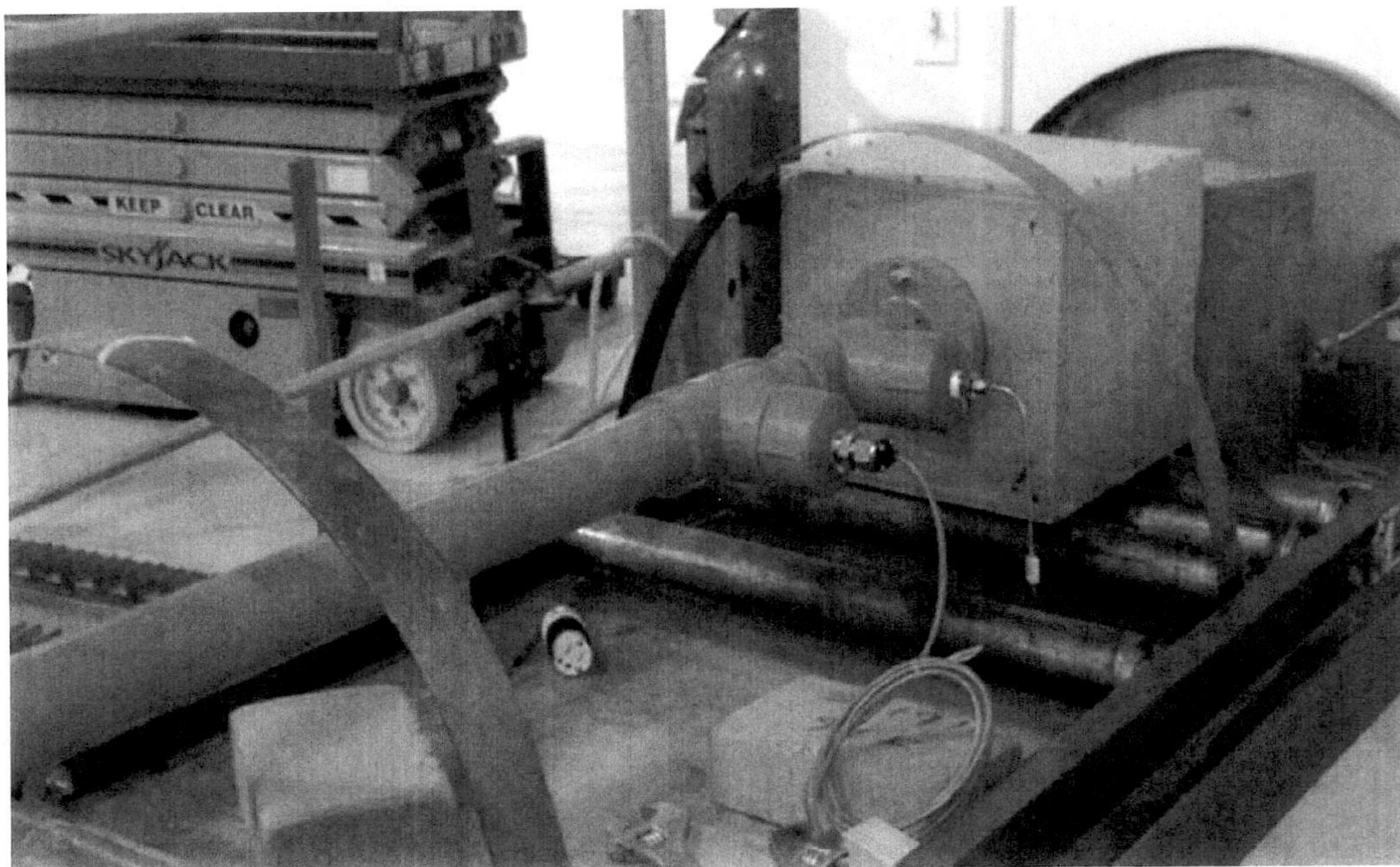


410

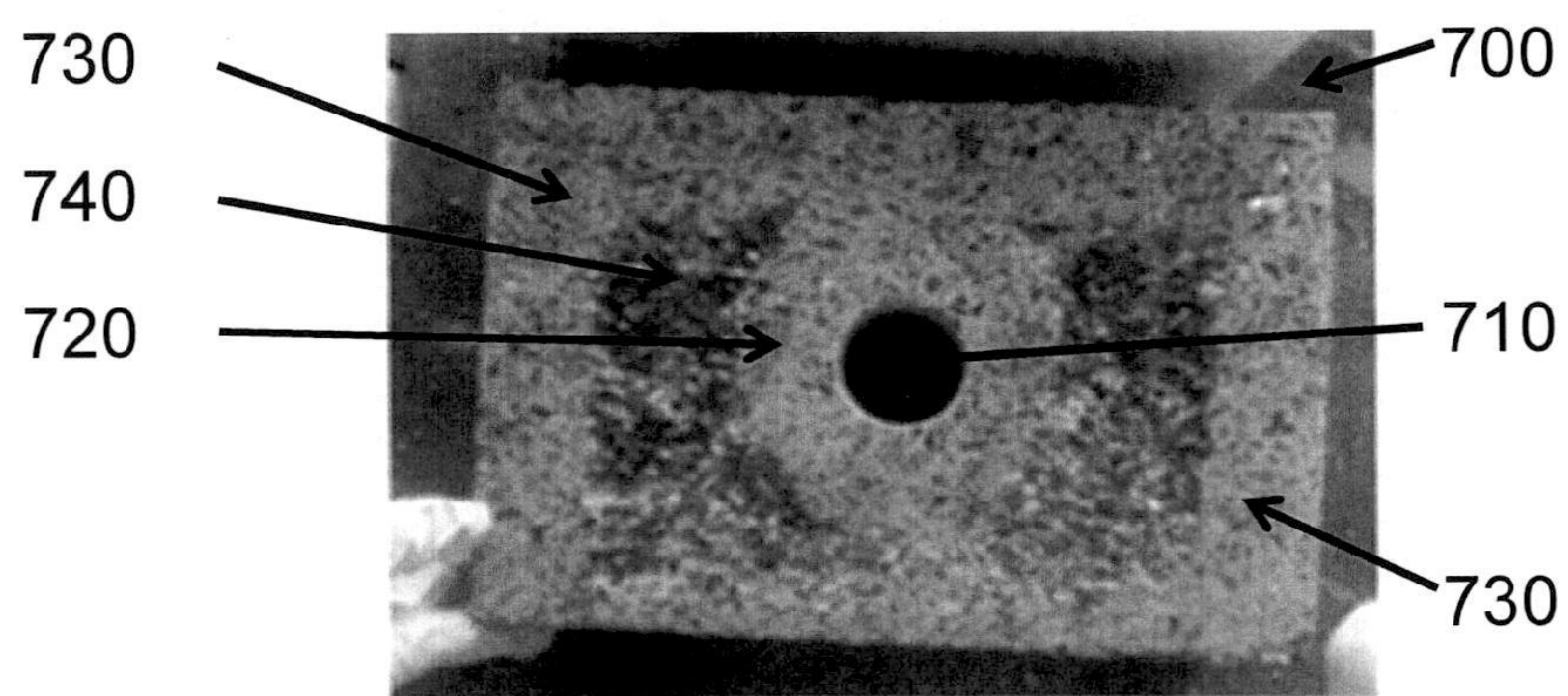
第4圖



第5圖



第6圖

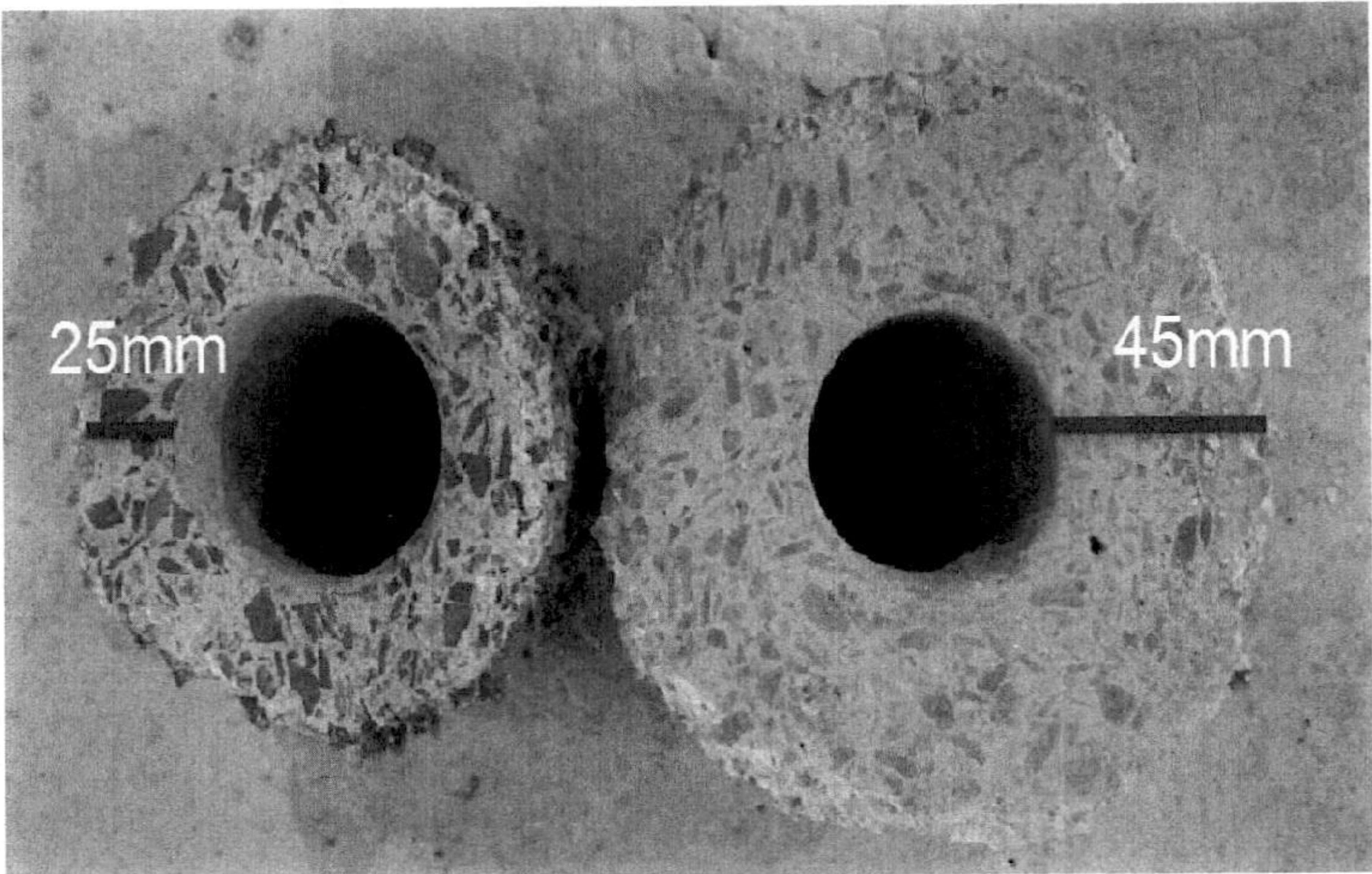


第7圖

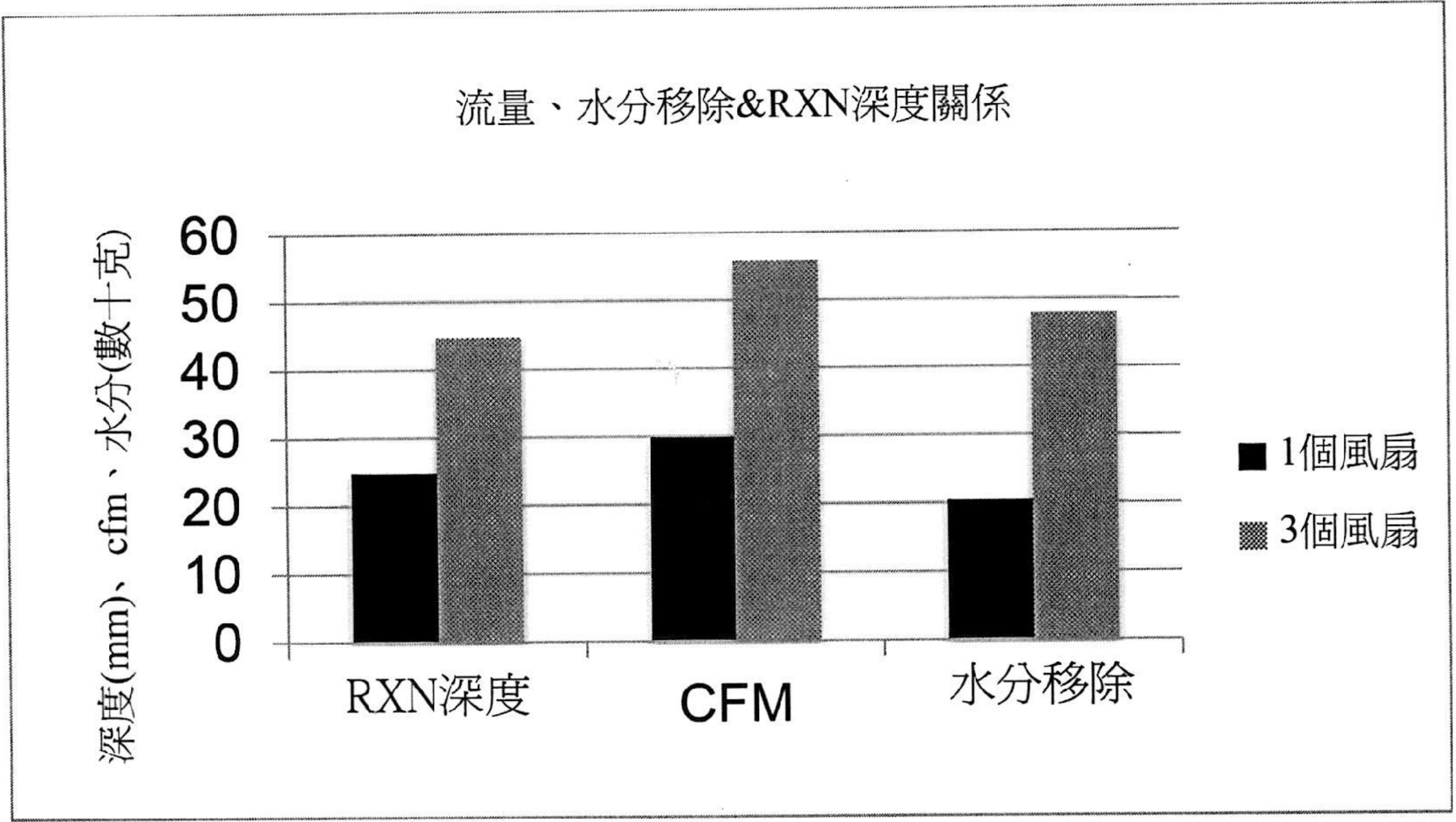
反應深度差異隨流率的變化

23 fps	42.5 fps
30.54 cfm	55.63 cfm
15.9 mph	29 mph

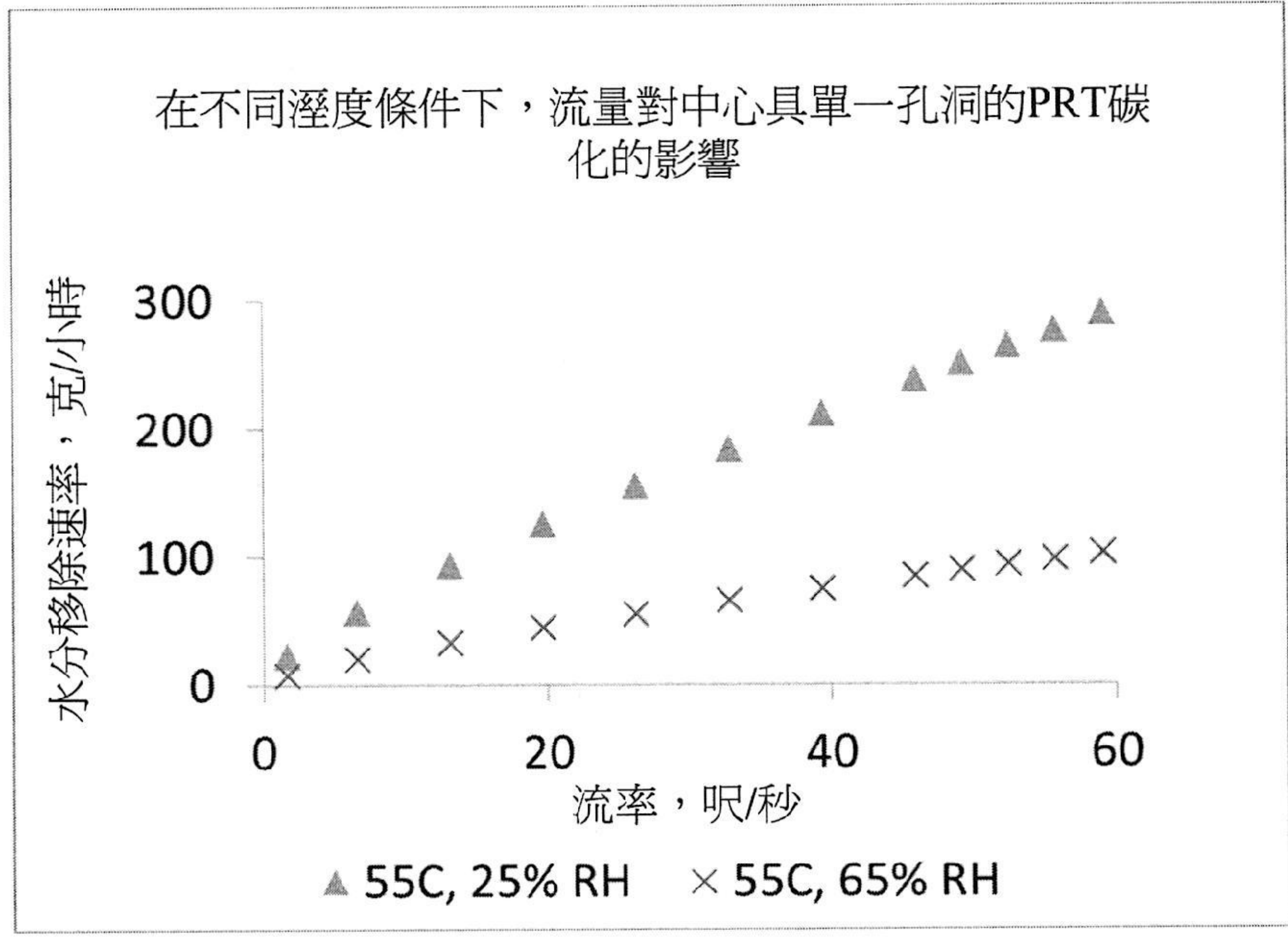
從樣品中心切割的樣品



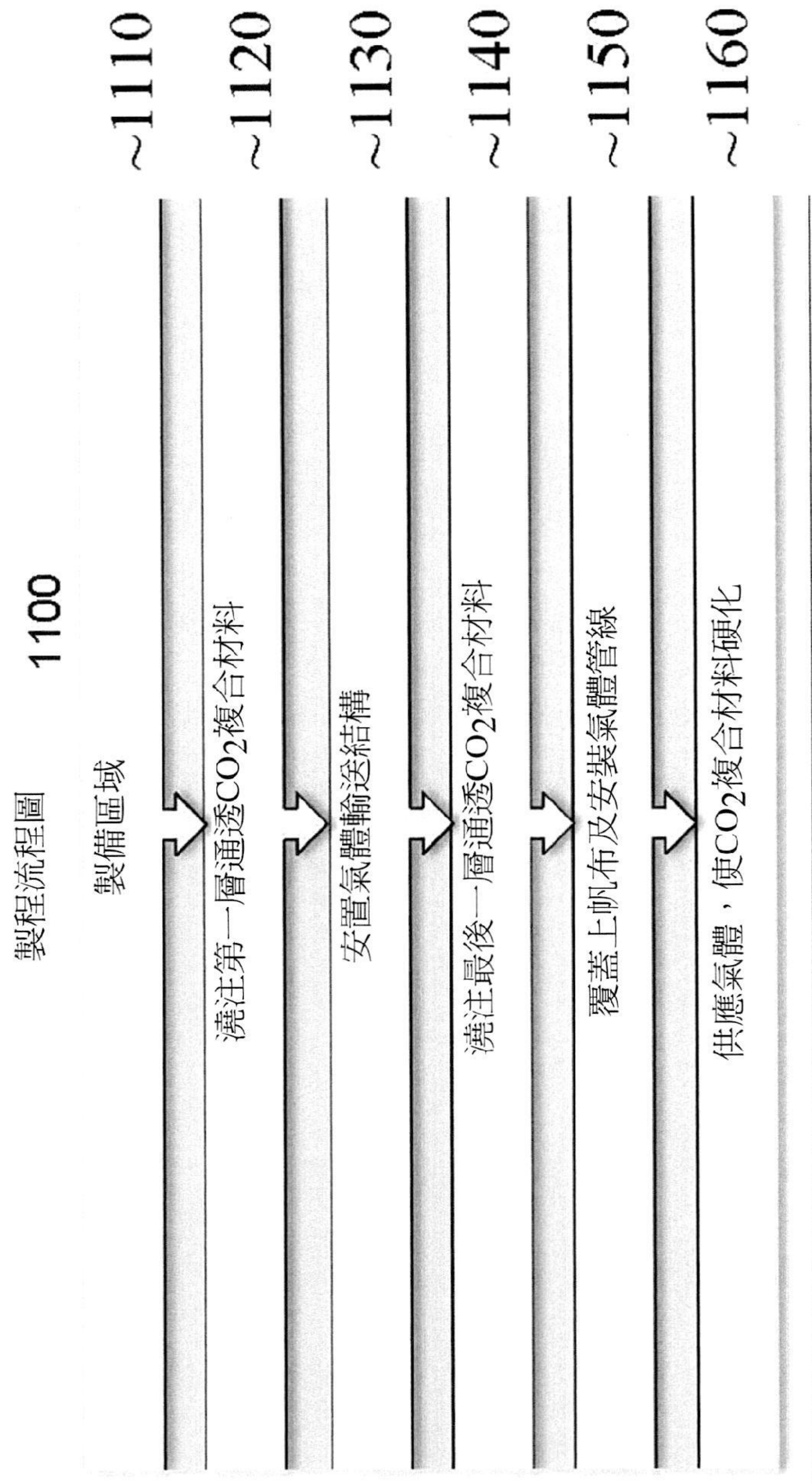
第8圖



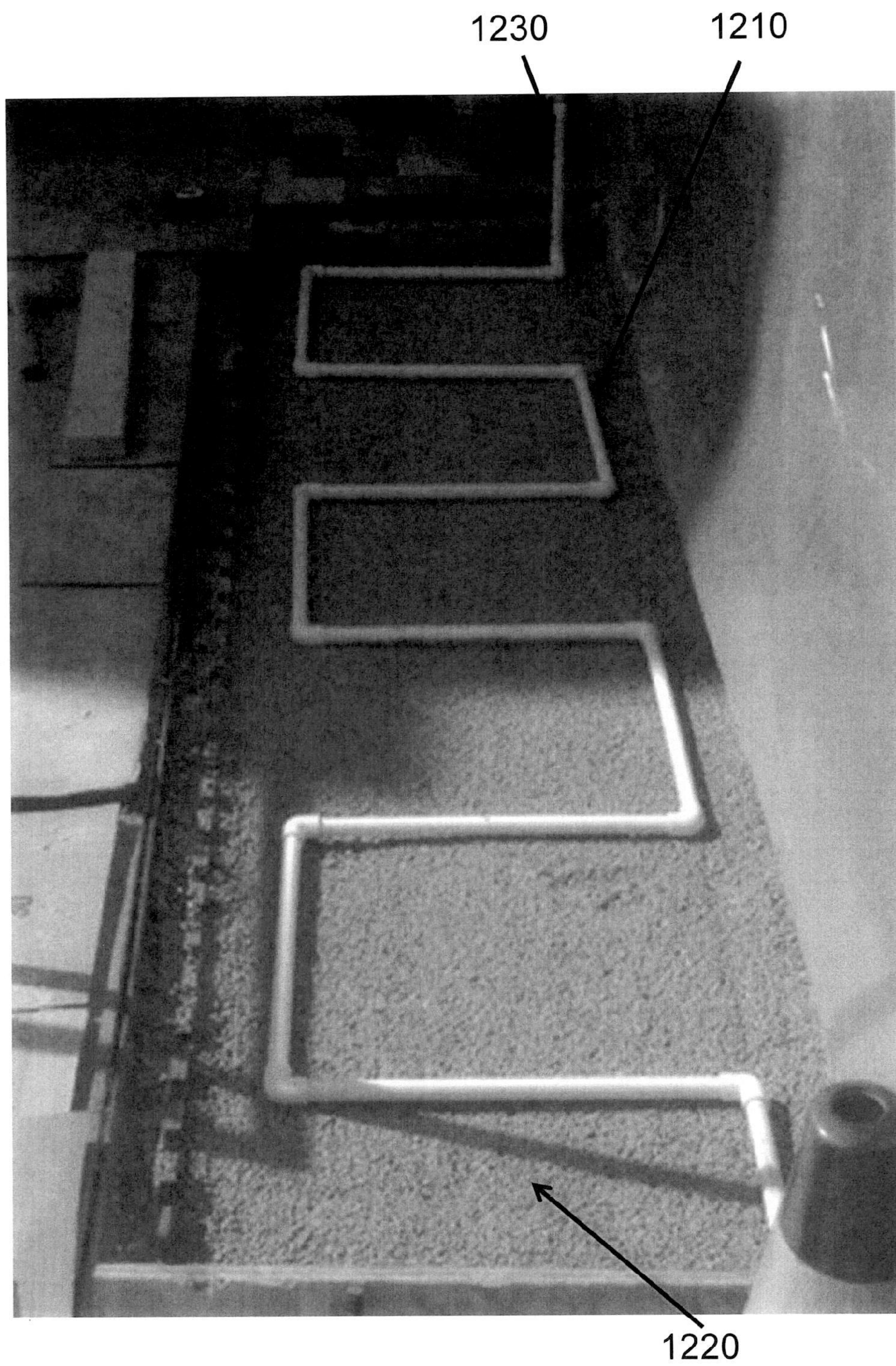
第9圖



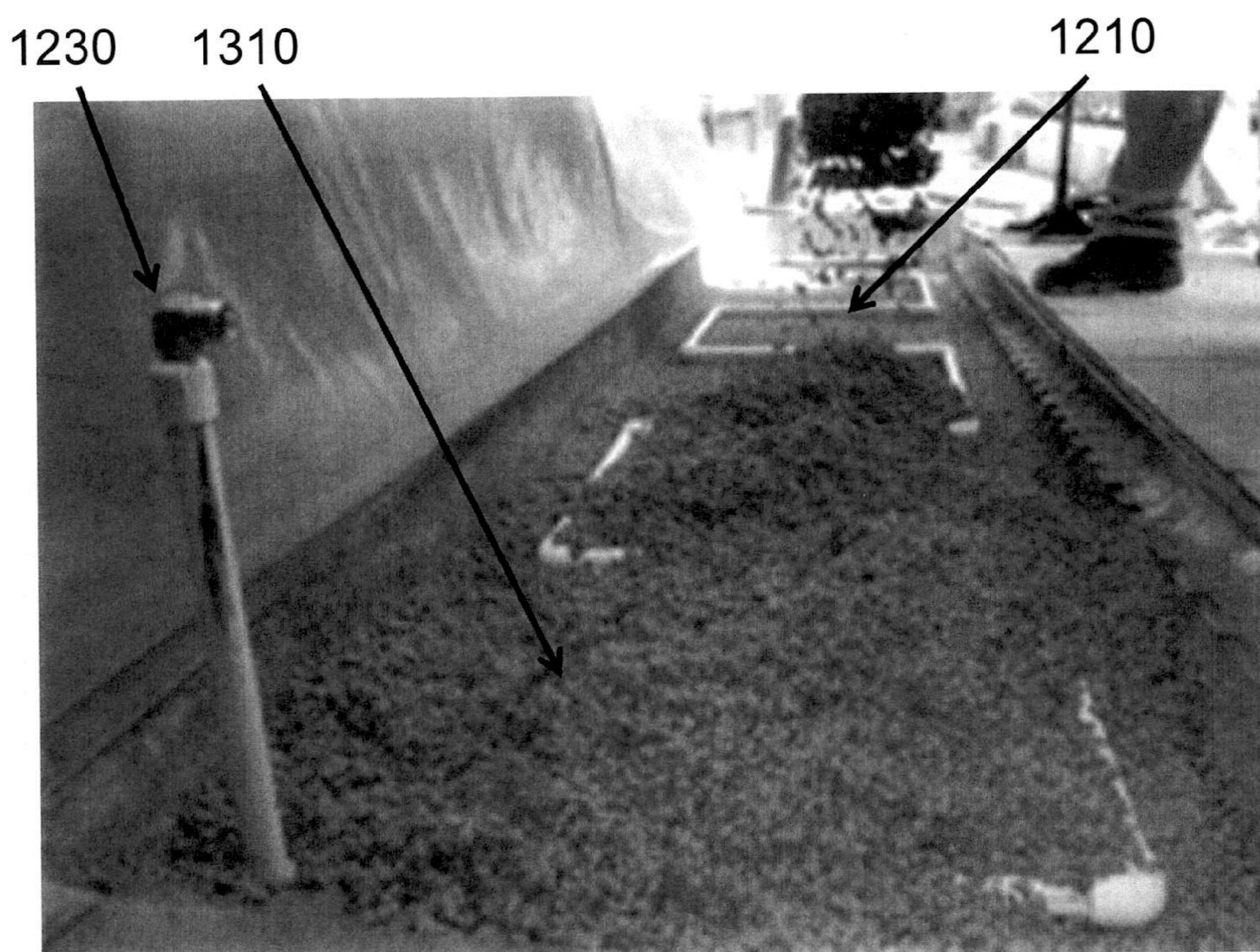
第10圖



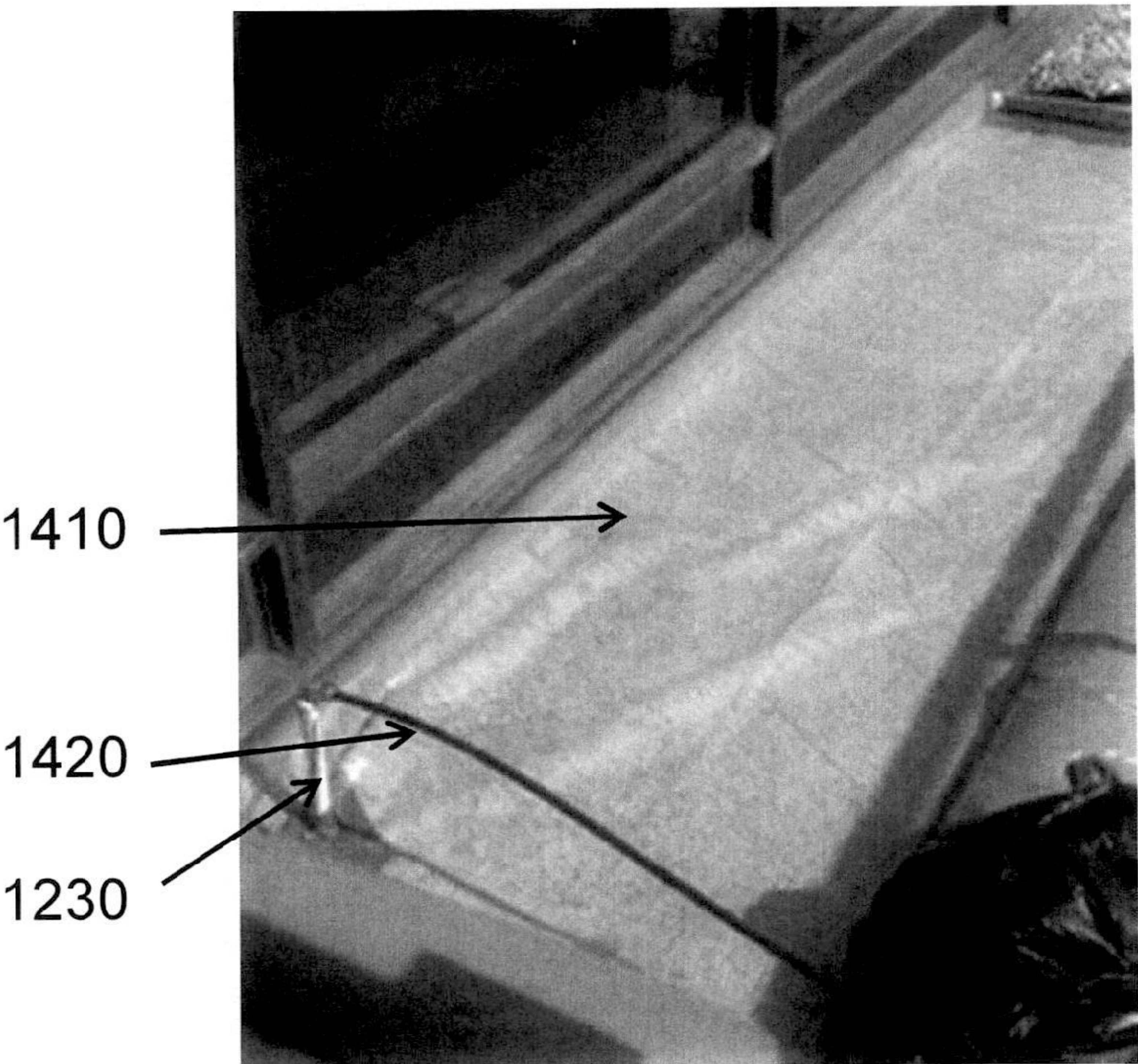
第11圖



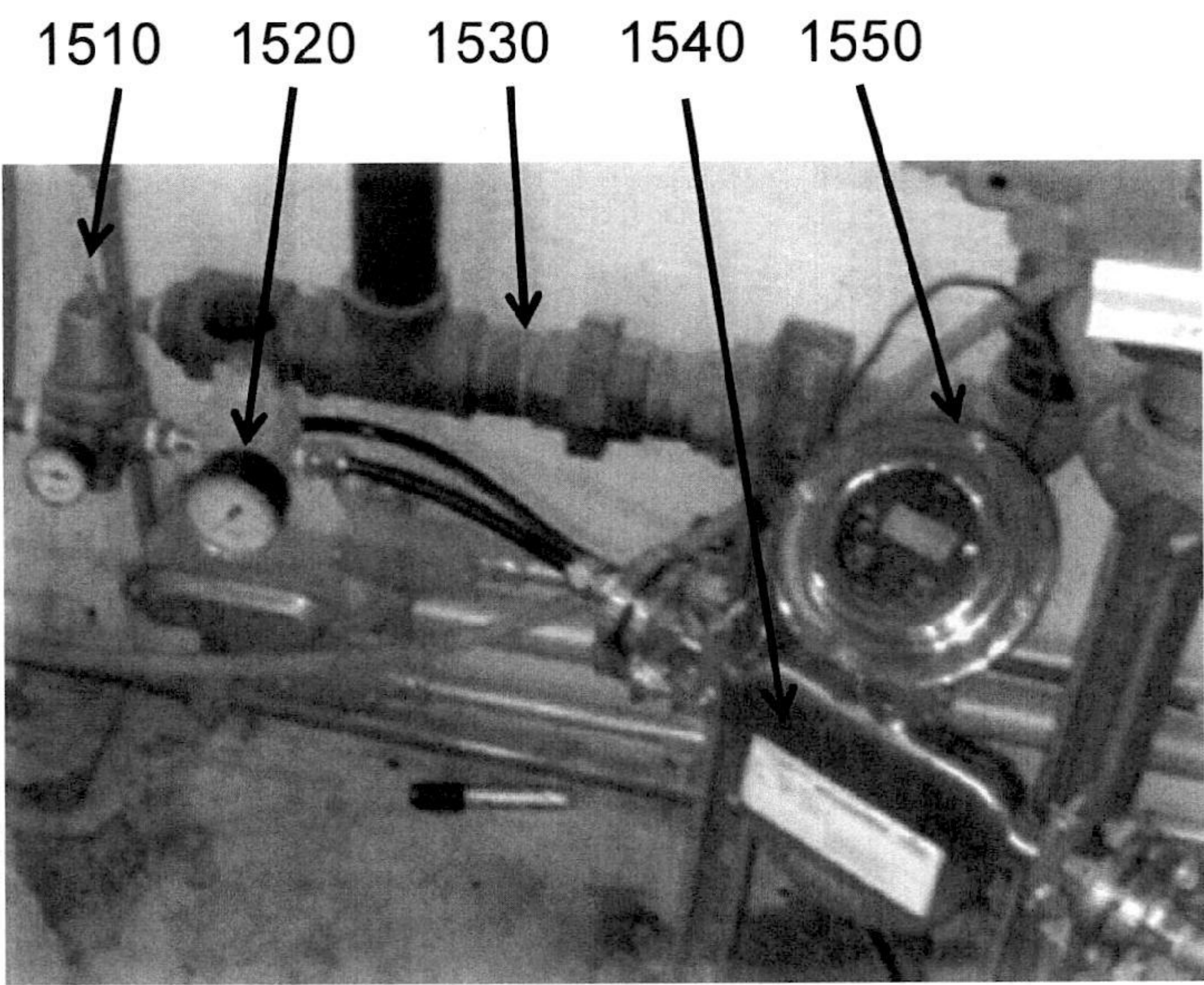
第12圖



第13圖



第14圖

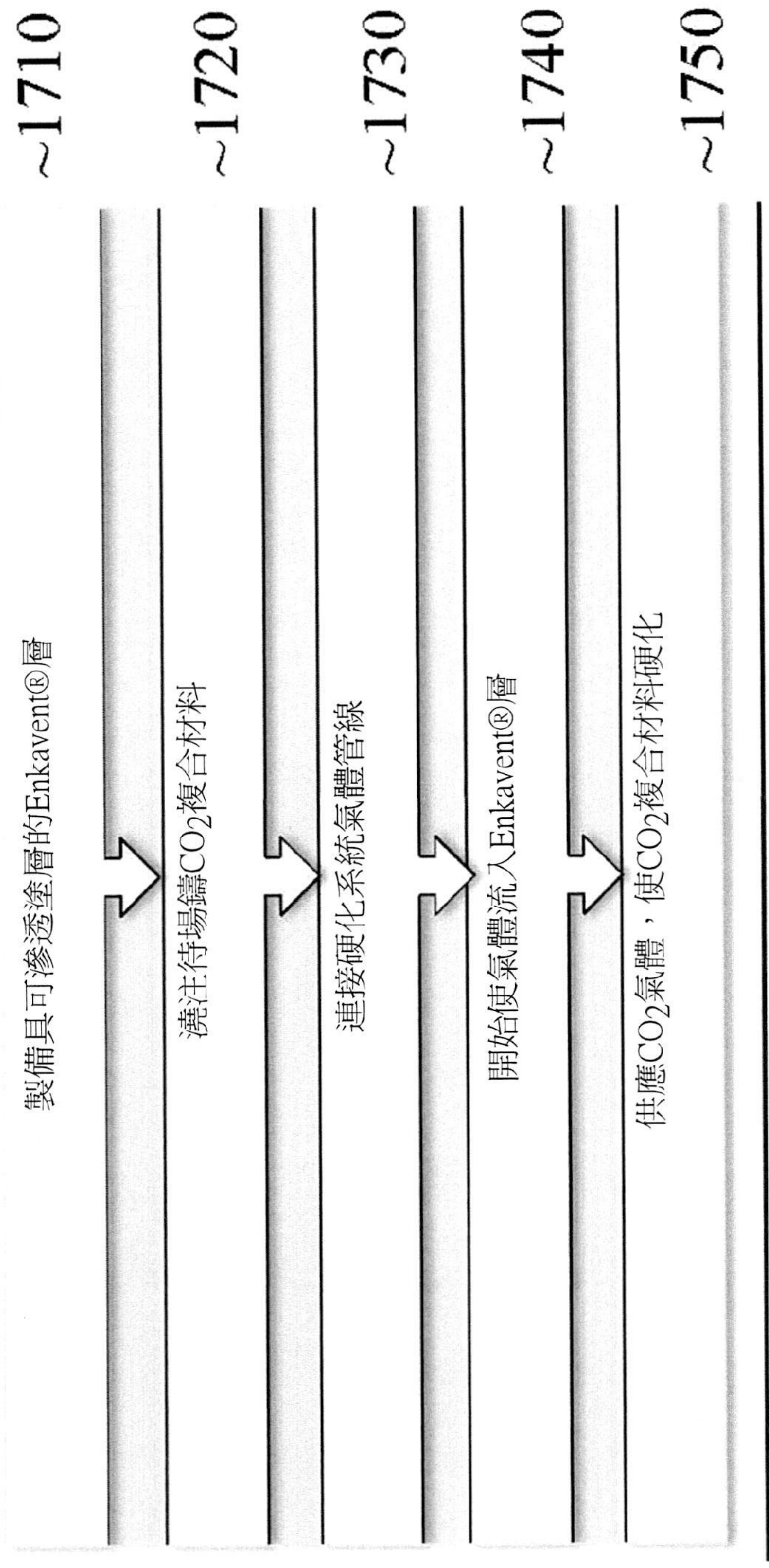


第15圖

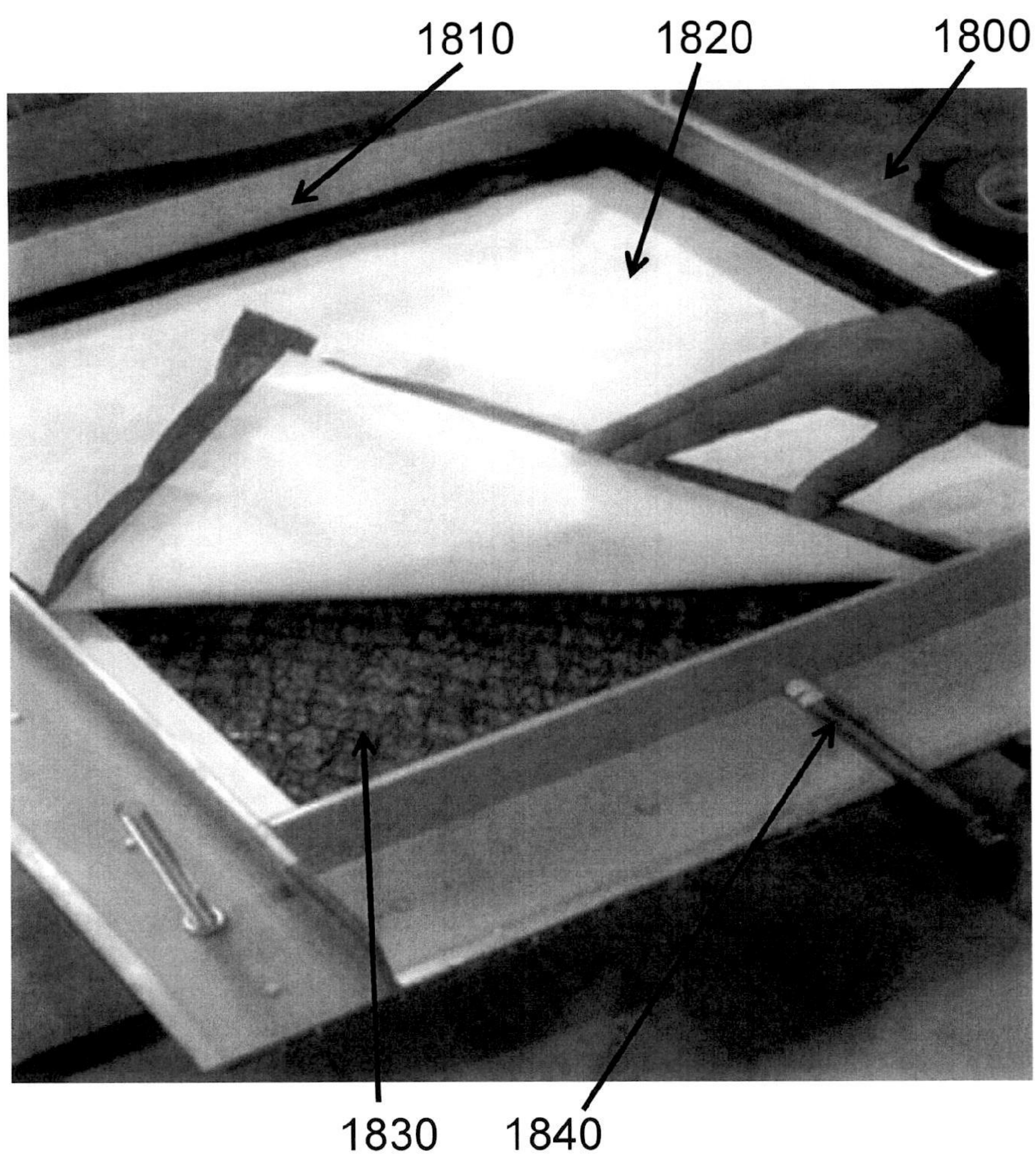


第16圖

製程流程圖
1700



第17圖

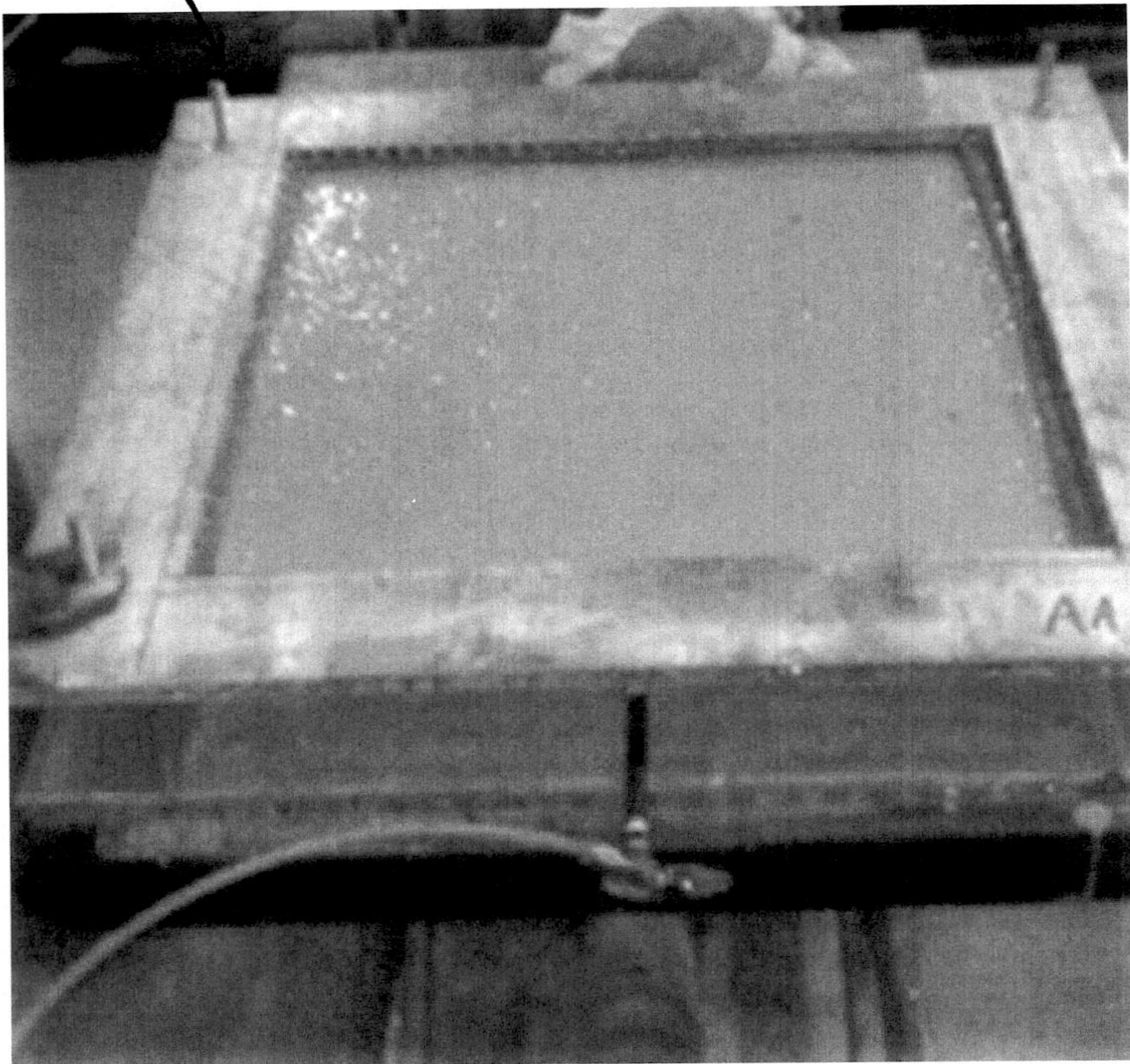


第18圖

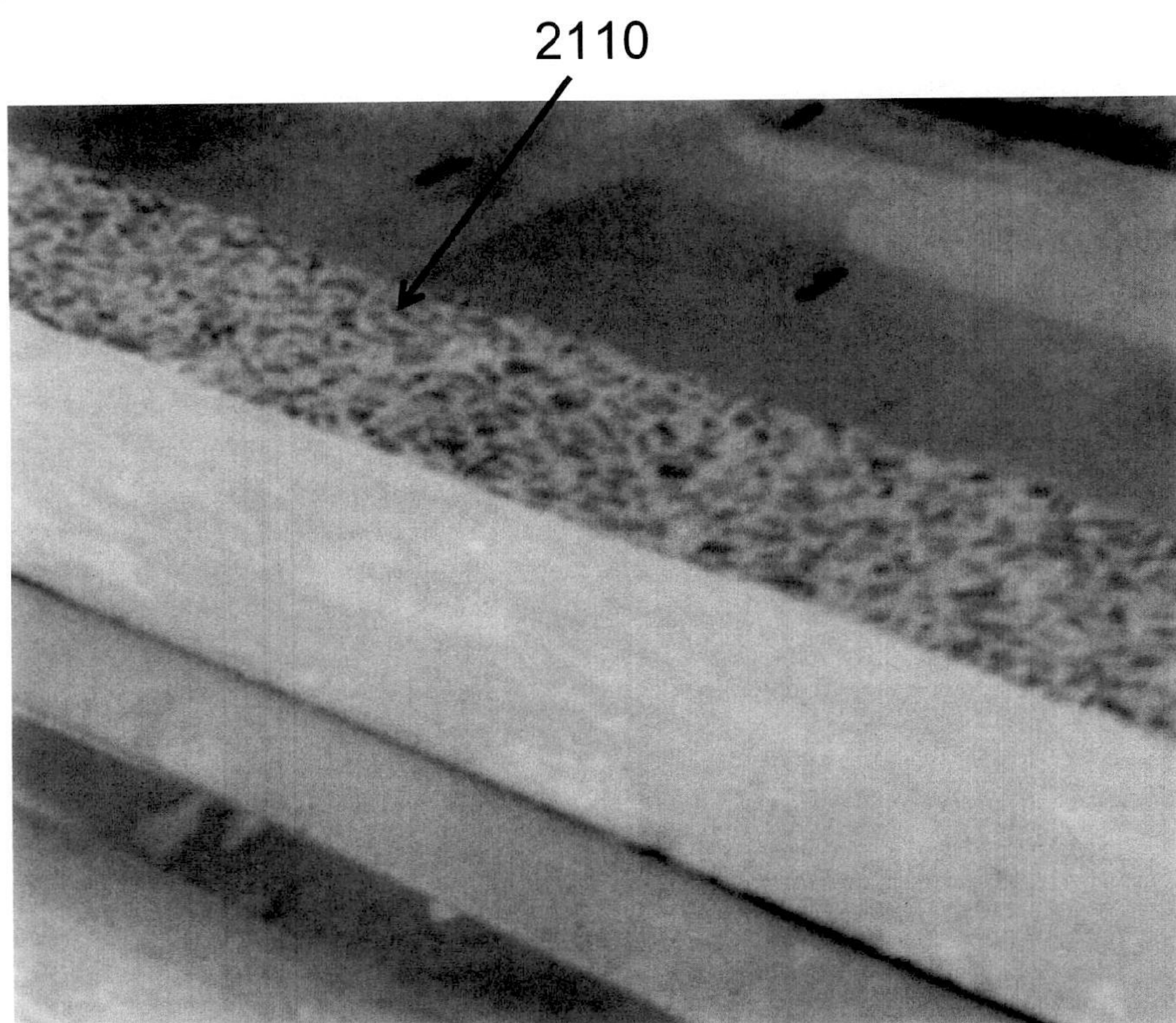


第19圖

1800



第20圖



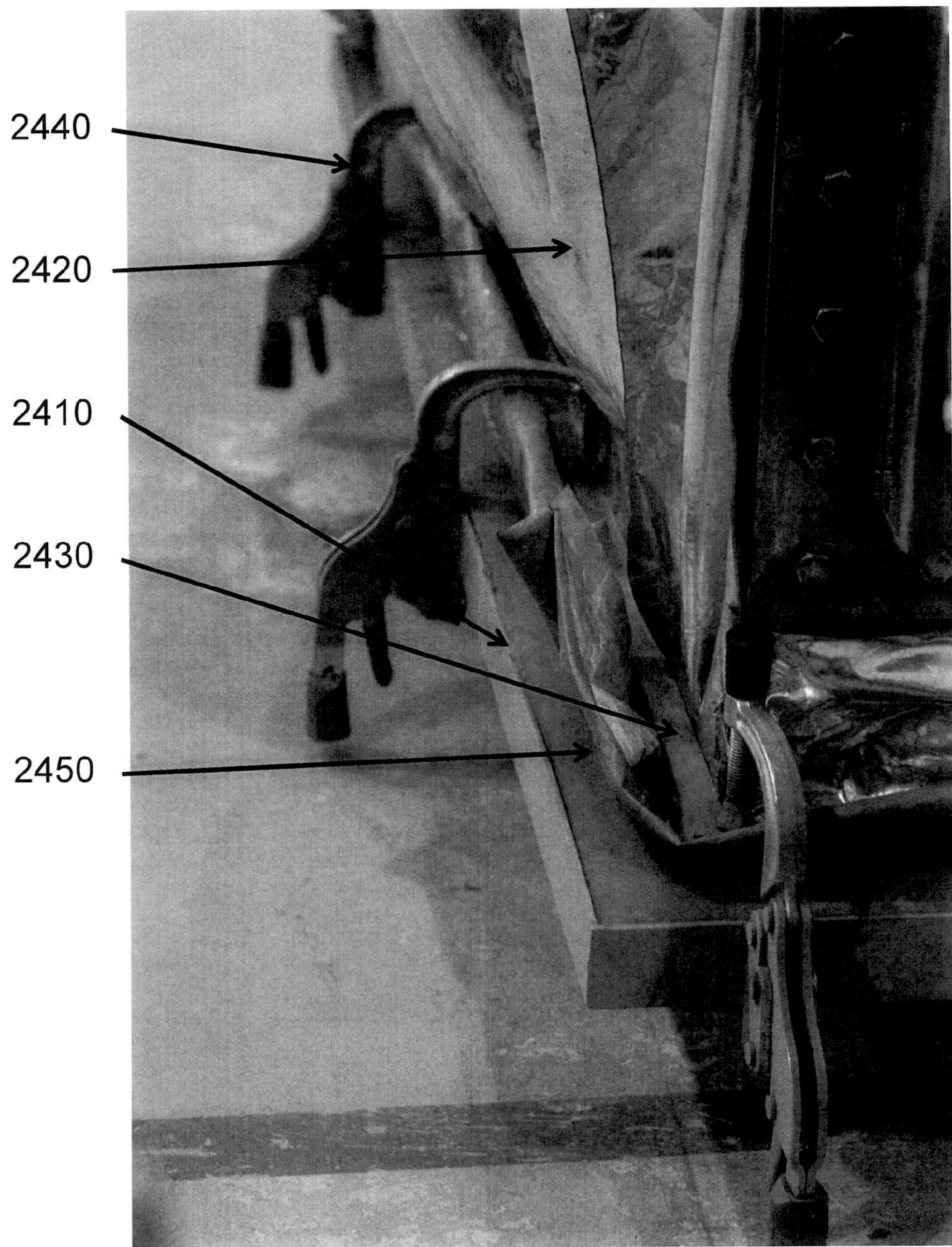
第21圖



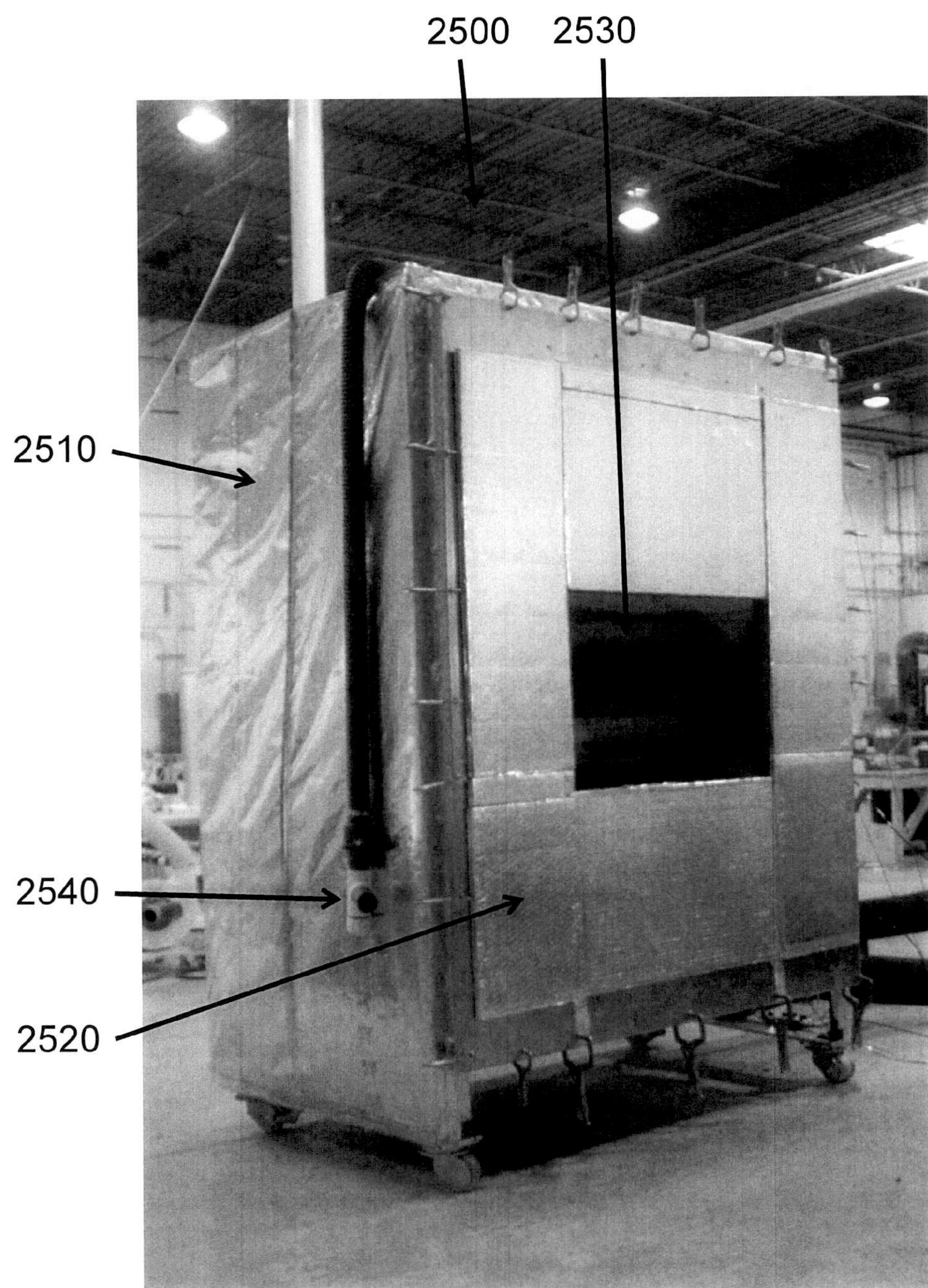
第22圖



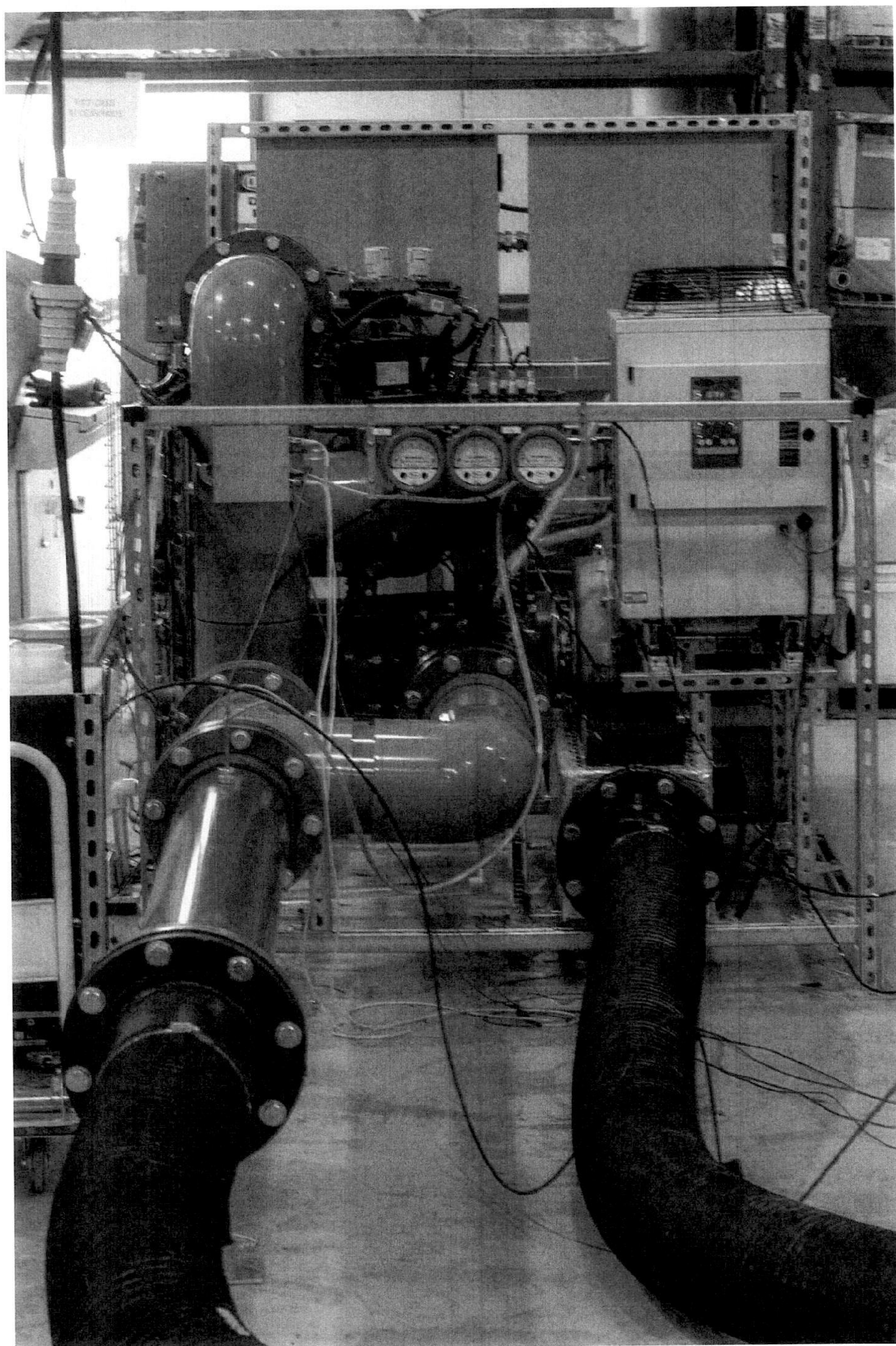
第23圖



第24圖

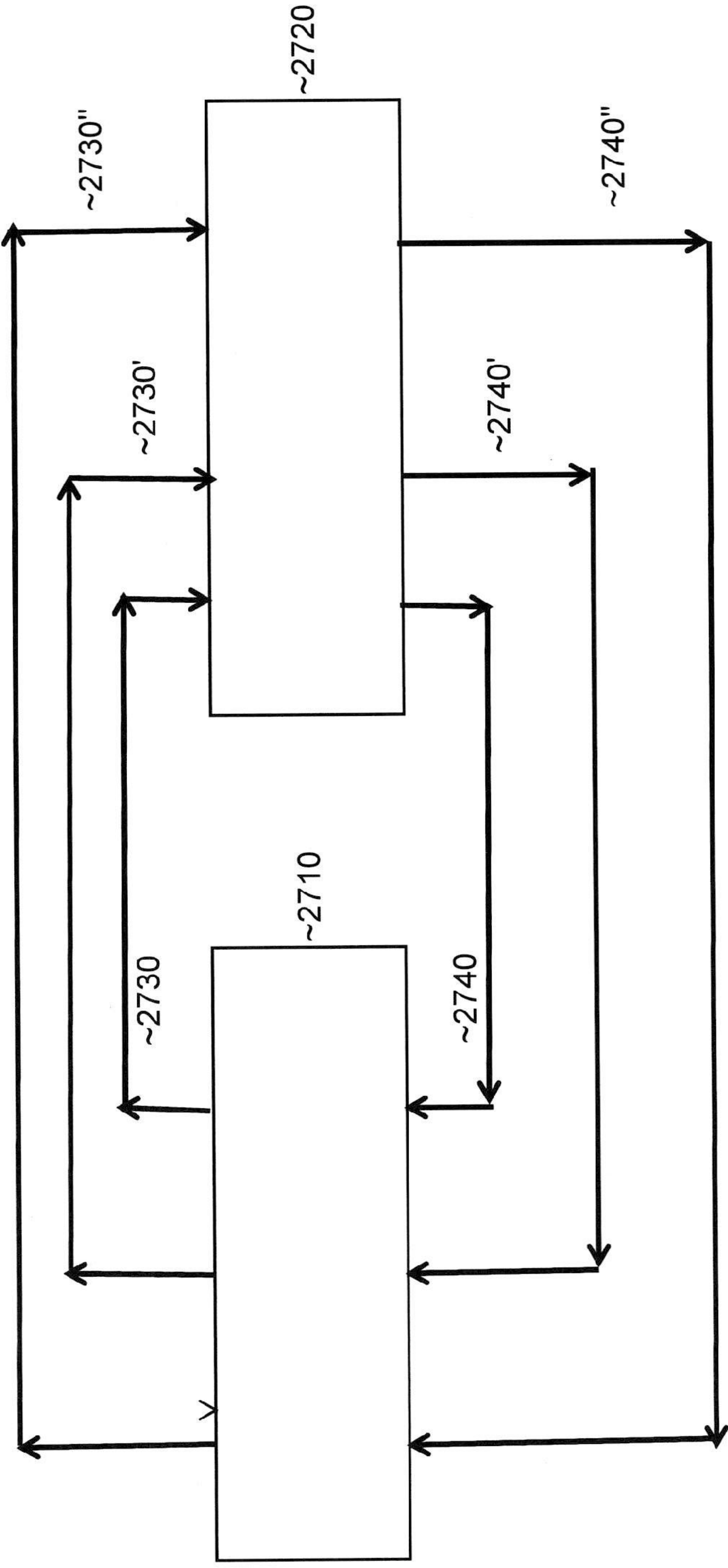


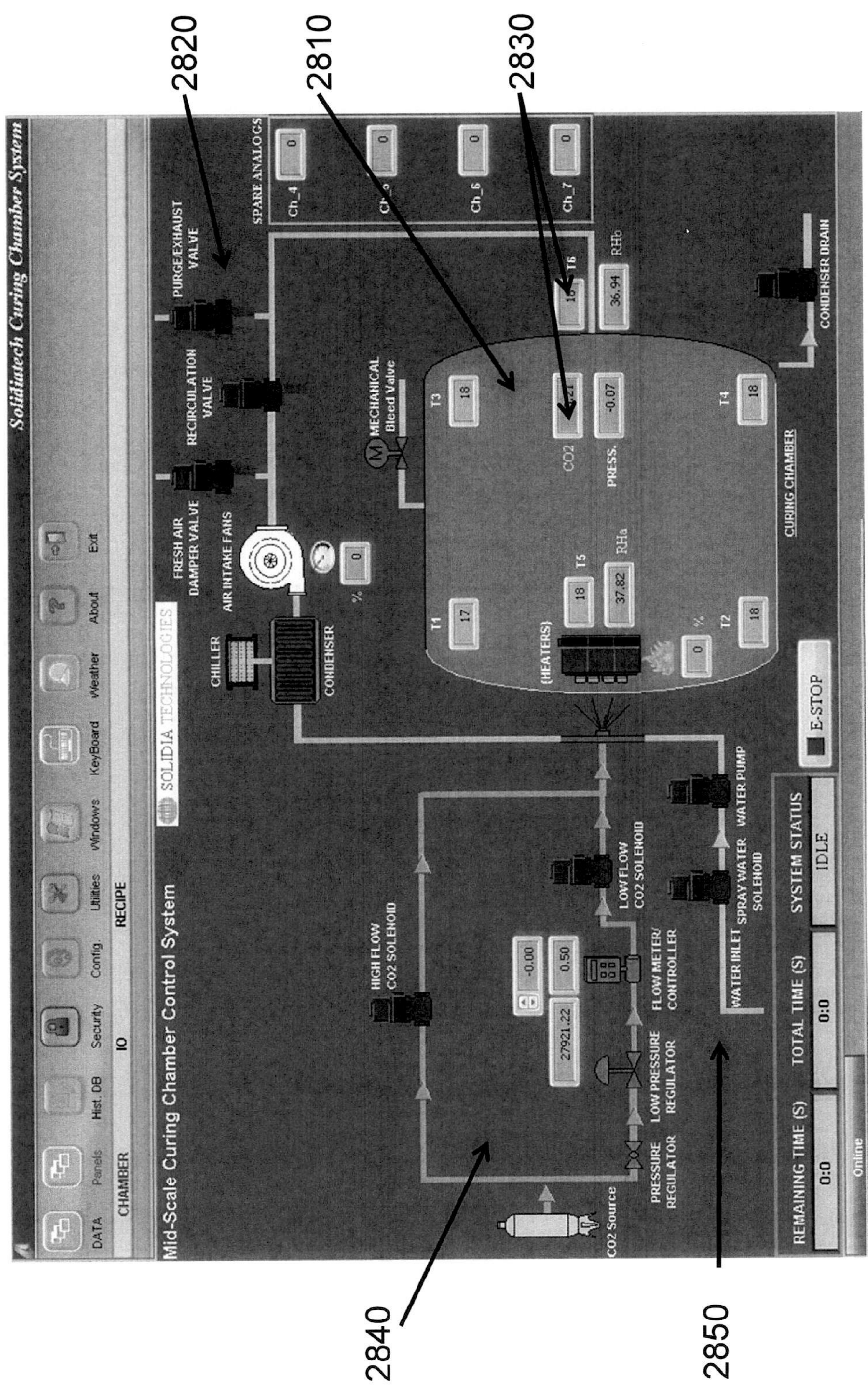
第25圖



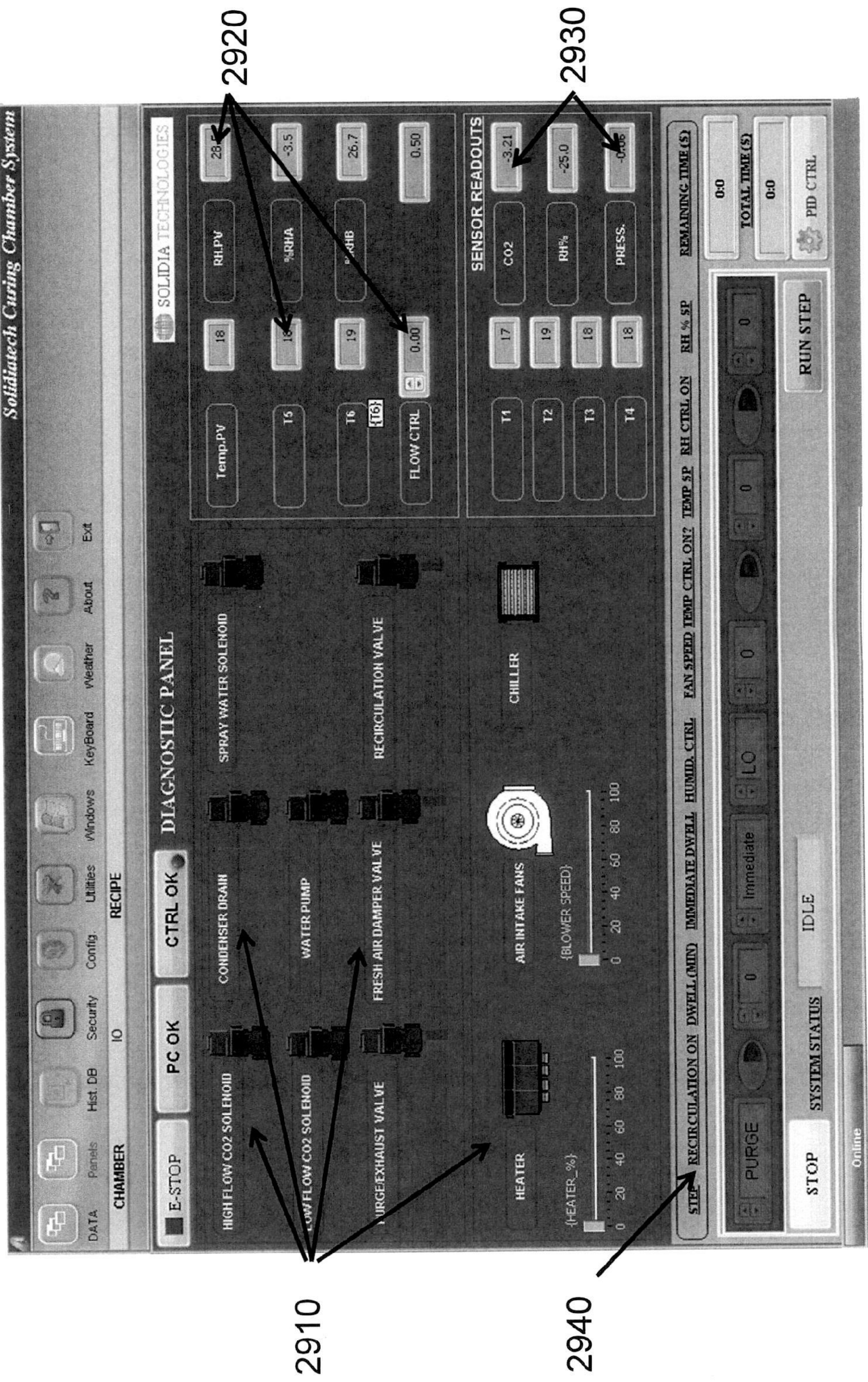
第26圖

第27圖

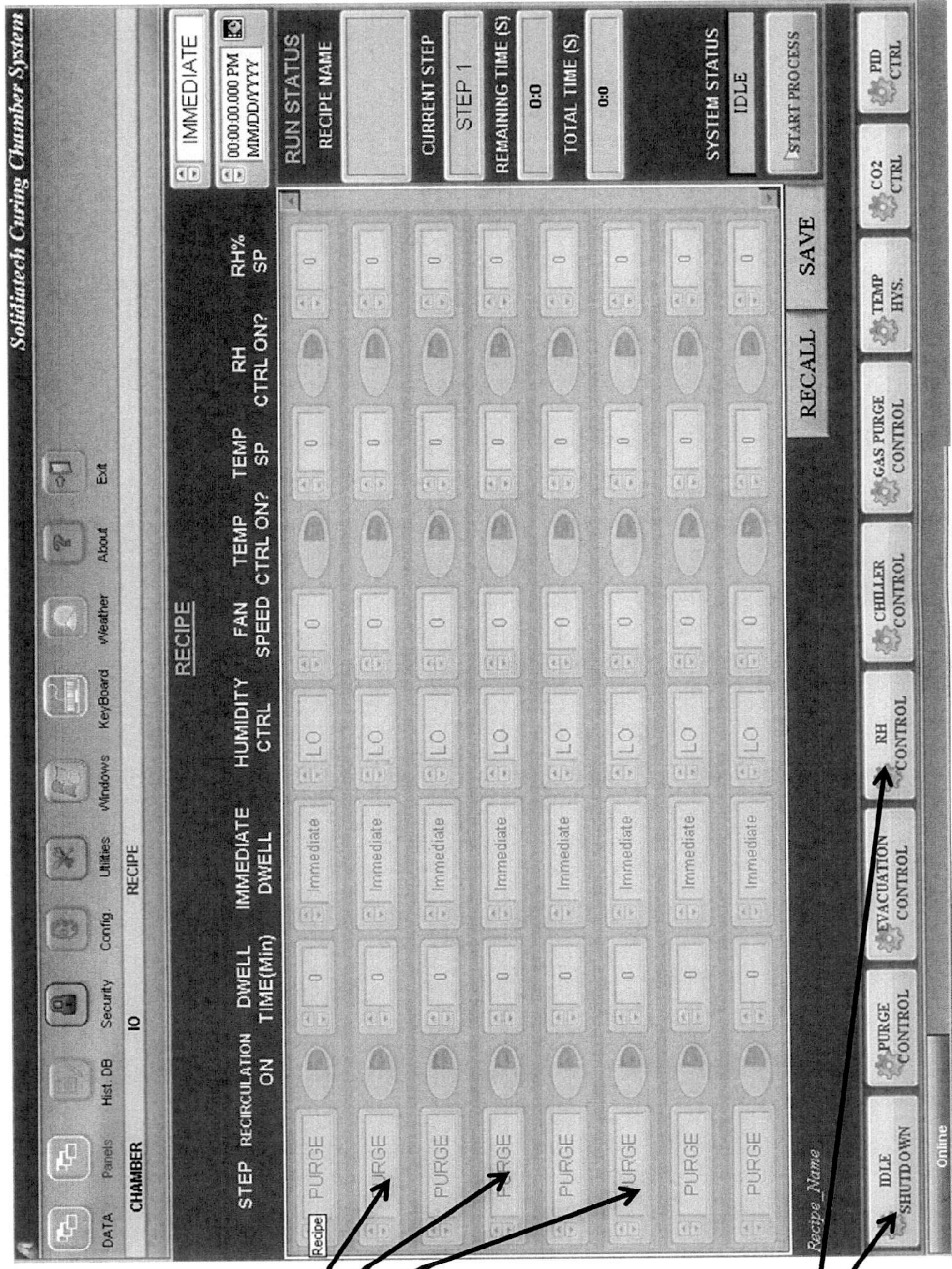




第28圖



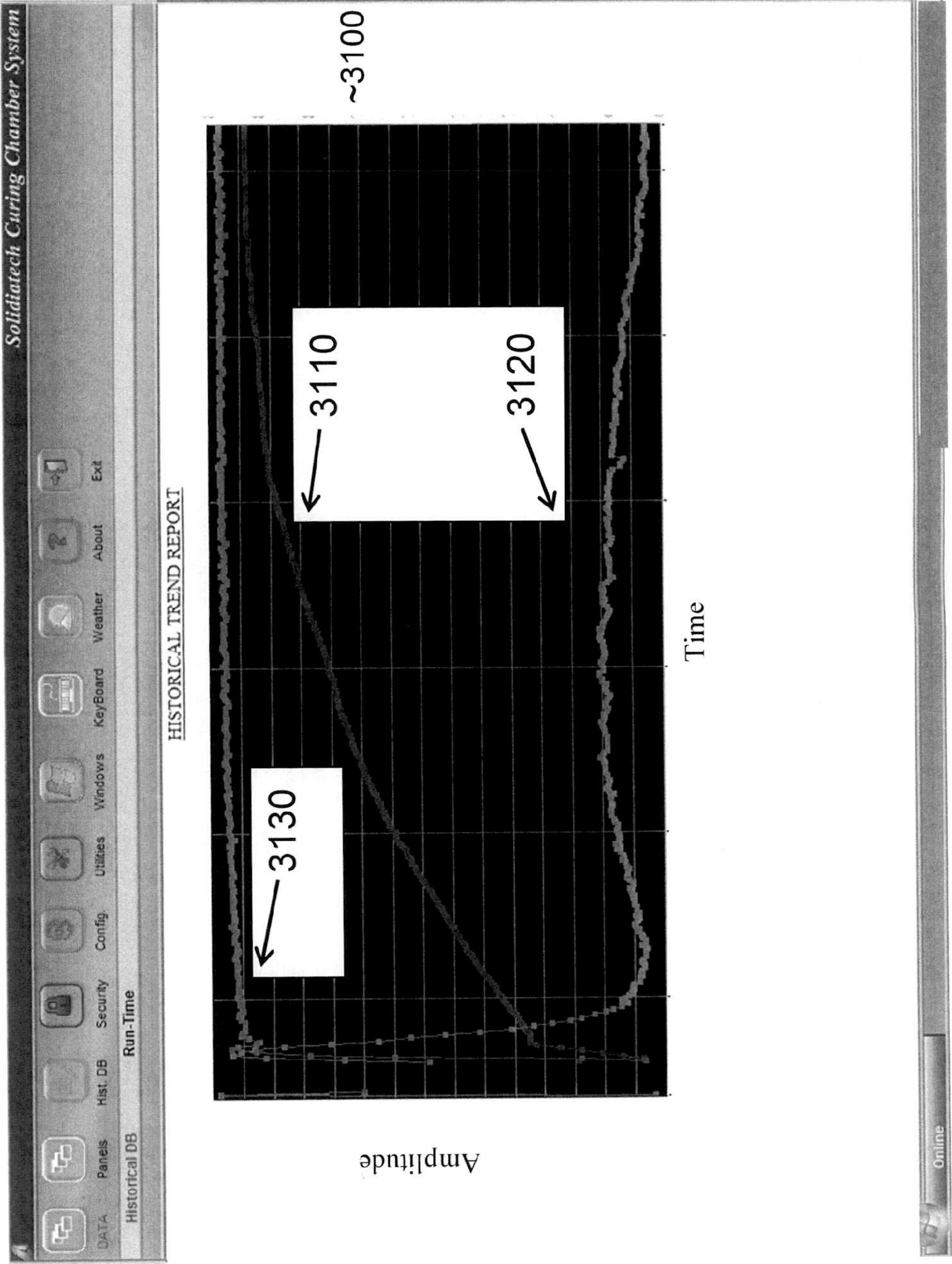
第29圖



3010

3020

第30圖



第31圖