

臺灣石化產業物質流系統分析

演講者: 張慶源 教授

何瓊芳¹、張慶源²、詹子慧²、張家驥²、張瓊芬³

¹ 中原大學國際貿易學系

² 臺灣大學環境工程學研究所

³ 東海大學環境科學學系

大綱

- 研究緣起與目的
- 研究方法
- 結果與討論
- 結論與建議

研究背景與目的

▶ 研究背景

- ▶ 石油化學業(石化業)為資本與能源密集產業。產品包含基本石化原料、各式石化中間原料及下游成品(纖維、塑膠、合成橡膠、肥料、清潔劑、溶劑、黏著劑及塑膠增韌劑)。下游產品可再經加工製成日常生活所需之各種消費品，為重要之基礎民生工業。
- ▶ 石化業具高耗能、高污染特性，故能源及資源之有效運用、減少耗能、增加回收能資源及減少廢棄物污染物乃是當前重要之課題。
- ▶ 石化業與下游產業間關係複雜，因此對於其能源及物質管理應從根本著手，建立其物質流、能源流及污染流模式，並進一步建構石化工業之量化模型，以衡量石化業各階段的資能源之利用是否達最適化。

研究背景與目的

- 建立工業生態模型須瞭解該工業體中物質使用情況，包括開發、輸入、輸出流向，及存量累積、物質轉換等，以建立完整之工業生態模型，做為具有參考價值之指標之環境管理決策工具。
- 產業之物質流可分為兩部分：
 - 實質物質資源：使用原料量、產品生產量等。
 - 隱藏流：資源使用過程中額外必須消耗的資源。資料有限、估算困難。
- 本研究僅針對輕油裂解以下之石化業進行研究，原油開採煉製的部分之物質流不加以討論。

研究背景與目的

▶ 研究目的

- ▶ 本研究針對石化業資能源的使用狀況，收集整合國內現有資料，架構出石化工業完整體系。
- ▶ 以瞭解本國石化業上、中、下游的物質流動情形、能源使用情形、環境負荷程度、及能資源之善用程度。
- ▶ 提供決策之參考依據，以期能在同樣經濟效益下，減少資源使用、能源消耗及廢棄物與污染物之產生。

研究方法

生態模型:

- 依據Graedal and Allenby (1995) 所提出的工業生態模型，加以修改成石化業的工業生態模型(Fig. 1)加以討論。

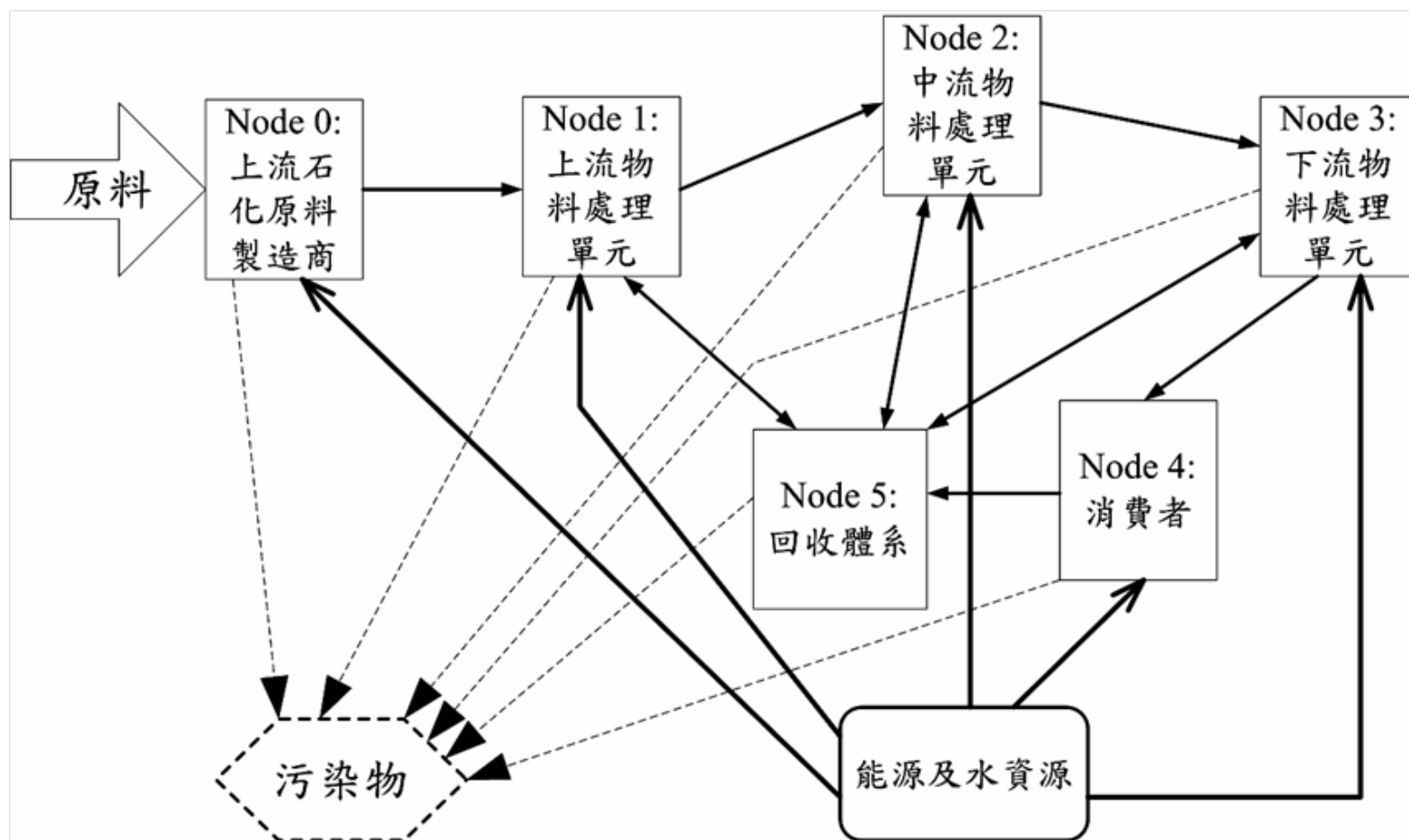


Fig. 1. 國內石化業工業生態模型

研究方法

➤ 分類及範圍界定:

- 石化業將針對上游、中游石化原料、下游之石化初級產品與石化消費品進行統計分析，分類如Table 1所示。
- 就產量比例而言，本研究選定之上游、中游及下游物料產量分別佔實際石化業上游物料產量之54、67及35%。

Table 1. 石化業上中下游物料細分

分類	產品項目
上游	乙烯、丙烯、丁二烯、甲苯
中游 (I)	EG、VCM、SM、AN、CPL、PA、PTA
中游 (II)	PVC、LDPE、HDPE、PP、BR、PS、ABS、SBR
下游	人纖紡紗、聚酯絲、尼龍絲、其他人造纖維 塑膠布、塑膠管、壓克力板、塑膠板、塑膠袋、塑膠膜、塑膠地磚、塑膠皮、塑膠鞋、塑膠手提箱包、塑膠手套 汽車外胎、汽車內胎、機車外胎、機車內胎、自行車外胎、自行車內胎、橡膠管

研究方法

▶ 物質計算方式:

▶ 進行物質流分析時，將選定物料質量按此比例換算成實際質量以避免低估。

▶ 以「乙烯當量」做為個物種之衡量單位。

▶ 以碳數比做質量單位的換算。

▶ $1 \text{ 單位苯} \times 6 \div 7 = 0.86 \text{ 單位甲苯}$ ； $1 \text{ 單位二甲苯} \times 8 \div 7 = 1.14 \text{ 單位甲苯}$ ； $1 \text{ 單位丙烯} \times 3 \div 2 = 1.5 \text{ 單位乙烯}$ ； $1 \text{ 單位丁二烯} \times 4 \div 2 = 2 \text{ 單位乙烯}$ ； $1 \text{ 單位甲苯} \times 7 \div 2 = 3.5 \text{ 單位乙烯}$ 。

▶ 物質平衡式:

國內乙烯存貨變化量 = (國內生產乙烯量 + 進口乙烯量)
- (出口乙烯量 + 浪費乙烯量 + 用於原料之乙烯量)

研究方法

➤ 情境探討

➤ 情境A:

- 狹義之石化工業，將中游細分為中游I及中游II。
- 回收處理後物料視為下游物料產生源之一。
- 假設石化產品於民生消費者端並無存量。
- 假設回收體系不會產生廢棄物料，亦無庫存物料量之變化。
- 假設石化消費產品之進出口量相等且為零。

➤ 情境B:

- 狹義之石化工業，中游I與中游II合併考慮為中游。
- 上、中游石化業之可回收再利用產品或原料，於廠內或同業者間進行回收再利用，並不進入本研究定義之回收體系。
- 回收處理後的物料可看成一下游產品的產生源
- 假設石化產品於民生消費者端之存量為民生消費量之70%。
- 假設石化消費產品之進出口量相等且為零。

研究方法

▶ 各單元質能平衡式：

▶ 上游物料處理單元 (Node 1)：

$$\begin{aligned}\frac{dM_{us}}{dt} &= (M_{up} + M_{ui} - M_{ue}) + M_{pru} - M_{mp} - M_{urp} - M_{uw} \\ &= M_{uc} + M_{pru} - M_{mp} - M_{urp} - M_{uw}\end{aligned}\quad (1)$$

▶ 中游物料處理單元 (Node 2)：

$$\begin{aligned}\frac{dM_{ms}}{dt} &= (M_{mp} + M_{mi} - M_{me}) + M_{prm} - M_{dp} - M_{mrp} - M_{mw} \\ &= M_{mc} + M_{prm} - M_{dp} - M_{mrp} - M_{mw}\end{aligned}\quad (2)$$

▶ 下游物料處理單元 (Node 3)：

$$\begin{aligned}\frac{dM_{ds}}{dt} &= (M_{dp} + M_{di} - M_{de}) + M_{prd} - M_{cp} - M_{drp} - M_{dw} \\ &= M_{dc} + M_{prd} - M_{cp} - M_{drp} - M_{dw}\end{aligned}\quad (3)$$

研究方法

➤ 消費者 (Node 4) :

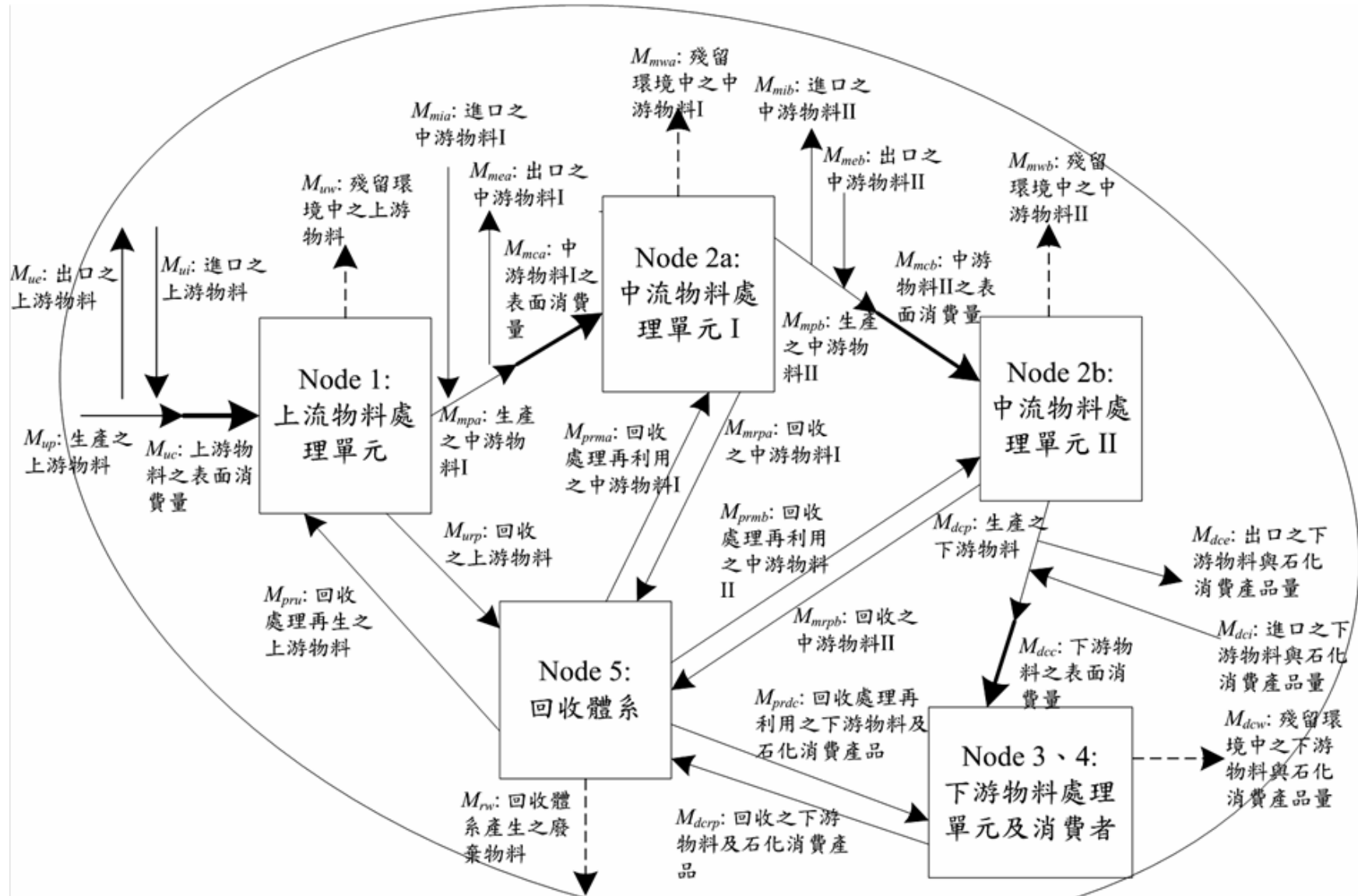
$$\frac{dM_{cs}}{dt} = (M_{cp} + M_{ci} - M_{ce}) - M_{crp} - M_{cw} = M_{cc} - M_{crp} - M_{cw} \quad (4)$$

➤ 回收體系 (Node 5) :

$$\frac{dM_{rs}}{dt} = M_{urp} + M_{mrp} + M_{drp} + M_{crp} - M_{pru} - M_{prm} - M_{prd} - M_{rw} \quad (5)$$

結果與討論-情境A

台灣石化業工業生態模型-情境A



結果與討論-情境A

➤ Approach A-1

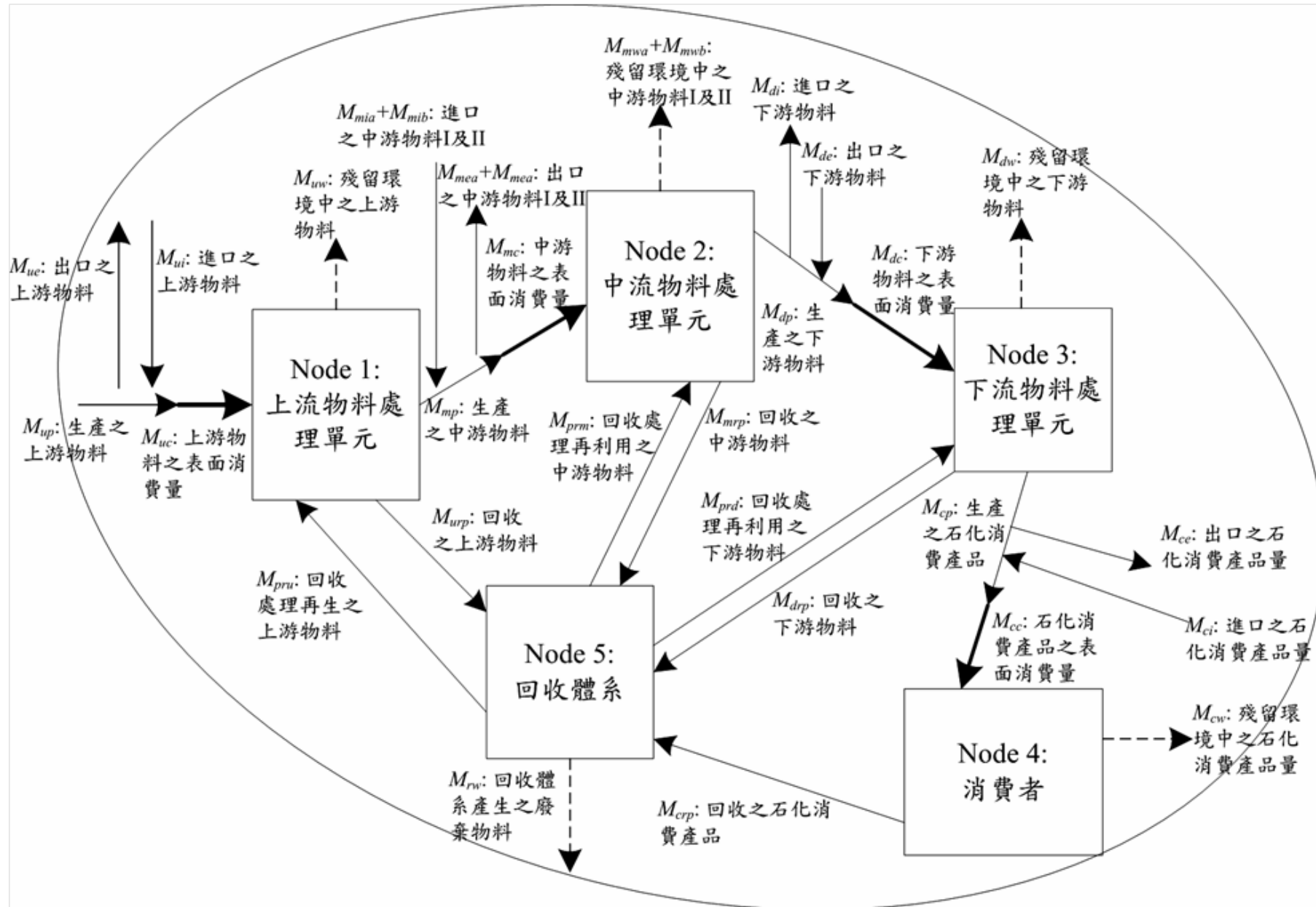
- 直接以本研究選定物料之總質量做計算（不換算成乙烯當量）。
- M_{uw} 、 M_{mwa} 、 M_{mwb} 、 M_{dcw} 為未知數。假設為 $M_{uw} = \beta_u \times M_{uc}$ 、 $M_{mwa} = \beta_{ma} \times M_{mca}$ 、 $M_{mwb} = \beta_{mb} \times M_{mcb}$ 、 $M_{dcw} = \beta_{dc} \times M_{dcc}$ 。分別對各式進行迴歸，可求得 β_{ma} 、 β_{dc} 。
- 每噸上游物料表面消費量之流動會自環境中獲得0.0011噸物料量。
- 每噸中游I物料表面消費量之流動會自環境中獲得0.2159噸物料量。
- 每噸中游II物料表面消費量之流動會自環境中獲得0.0055噸物料量。
- 每公噸石化物料表面消費量之流動會產生0.0877噸之廢棄物料量。

結果與討論-情境A

- Approach A-2
- 將各物料換算成乙烯當量來做計算，其餘條件與Approach A-1相同。
- 每噸上游物料表面消費乙烯當量的流動會產生0.0769噸乙烯當量之廢棄物料。
- 每噸中游I物料表面消費乙烯當量的流動會產生0.0504噸乙烯當量之廢棄物料。
- 每噸中游II物料表面消費乙烯當量的流動會自環境中獲得0.163噸乙烯當量之物料。
- 每噸下游物料表面消費乙烯當量的流動會產生1.0002噸乙烯當量之廢棄物料。
- 如將各階段廢棄量看成一體，則每公噸乙烯當量石化物料之流動會產生0.1225噸乙烯當量之廢棄物料。

結果與討論-情境B

台灣石化業工業生態模型-情境B



結果與討論-情境B

➤ Approach B-1

- 假設回收體系不會產生廢棄物料，也沒有庫存物料量之變化，即 $M_{rw}=0$ 、 $dMrs/dt=0$ ，則 $M_{prd}=M_{crp}$ 。
- 即每噸中游物料表面消費量的流動會產生0.2493噸的物料廢棄量。
- 民生消費者消費一公噸的石化產品，會產生0.9623噸的廢棄石化產品量。
- 每公噸上游物料表面消費量的流動會自環境中獲得0.0011噸物料量，每噸下游物料表面消費量的流動會自環境中獲得0.2034噸物料量。
- 每噸石化產品之流動會產生0.2611噸廢棄石化產品量。

結果與討論-情境B

➤ Approach B-2

- 將各物料換算成乙烯當量來做計算，其餘條件與Approach B-1相同。
- 由歷年資料迴歸可每噸中游物料表面消費乙烯當量之流動會產生0.2548噸乙烯當量的廢棄物料；
- 每噸下游物料表面消費乙烯當量的流動，會自產生0.0917噸乙烯當量的廢棄物料。
- 表示每噸上游物料表面消費乙烯當量之流動會產生0.0769噸乙烯當量廢棄物料；
- 消費者消費一噸乙烯當量之石化產品會產生0.9182噸乙烯當量廢棄產品。
- 如將各階段廢棄物量看成一體，每噸乙烯當量石化產品之流動會產生0.2633噸乙烯當量廢棄石化產品。

結果與討論-情境B

➤ Approach B-3

- 參考Approach B-2，但考慮 $M_{rs} \neq 0$ ， $M_{rw} \neq 0$ ， $dM_{rs}/dt \neq 0$ ， $M_{prd} \neq M_{crp}$ 。求解時，ApproachB-3將各物料質量換算成乙烯當量加以計算。
- 假設 $M_{prd} = 0.9 \times M_{crp}$ ，即回收總量約有90%為下游石化業所利用。
- 假設石化產品於民生消費者端之存量（ M_{cs} ）為民生消費量（ M_{cc} ）之70%
- 迴歸結果顯示每公噸乙烯當量之石化產品的流動，會產生0.3515噸乙烯當量廢棄石化產品。

結果與討論-情境B

➤ Approach B-4

- 將各物料質量換算成乙烯當量計算，並假設石化產品於民生消費者端之存量為民生消費量之90%，其餘條件與Approach B-3相同。
- 迴歸結果得每噸中游物料表面消費乙烯當量之流動會產生0.2548噸乙烯當量廢棄物料。
- 每噸下游物料表面消費乙烯當量的流動，產生0.3859噸乙烯當量廢棄物料。
- 民生消費者消費公噸乙烯當量之石化產品產生0.8816噸乙烯當量廢棄石化產品。
- 回收體系回收一公噸乙烯當量石化產品產生0.0802噸乙烯當量之廢棄石化產品。
- 表示每噸乙烯當量上游物料之流動產生0.0762噸乙烯當量的廢棄物料。
- 每公噸乙烯當量之石化產品的流動，產生0.3503噸乙烯當量廢棄石化產品。
- 改變民生消費者端存量的結果，只影響消費者端的廢棄量;存量比例增加，廢棄量比例減少。

結果與討論-情境B

➤ Approach B-5

- 將各物料質量換算成乙烯當量來做計算，並假設石化產品於民生消費者端之存量為民生消費量之70%。
- 假設回收體系不存在，其餘假設條件與Approach B-3相同。
- 每噸乙烯當量石化產品之流動會產生0.2621噸乙烯當量廢棄物料。
- 不考慮上游石化業之廢棄量，迴歸結果顯示每公噸乙烯當量之石化產品流動，會產生0.358噸乙烯當量的廢棄石化產品。

總結

▶ 本研究之結論如下：

- ▶ 本研究提出之石化業工業生態模型，配合既有之資料數據可確實描述中游物料處理單元（Node 2）以至於回收體系（Node 5）的物質流系統。惟上游物料處理單元（Node 1）於近三年的廢棄量為負值，此結果表示應有回收物料或統計資料未包含之物料量流入此上游物料處理單元。
- ▶ 當 β 為負值時表示有其他物質流動被忽略考慮，然而本研究建立之模型已儘可能將所有可能物質流動加入探討。
- ▶ 石化產品之產生會有其他物料加入與化學反應發生，造成質量平衡上之困難性，且石化產品多而廣，難以全盤考慮，因此造成數據不完整，使得結果會有誤差。

總結

➤ 情境A

- 因假設條件較多，由統計數據估算求得之 M_{uw} 、 M_{mwa} 、 M_{mwb} 、 M_{dcw} 有起伏變化，可看出其變化趨勢，以選定物料之總質量做計算（不換算成乙烯當量）每公噸石化物料表面消費量之流動會產生0.0877噸的廢棄物料量。若將各物料換算成乙烯當量來做計算，每公噸乙烯當量石化物料之流動會產生0.1225噸乙烯當量之廢棄物料。

總結

➤ 情境B

- 石化業之工業生態中，每公噸乙烯當量之石化產品流動，約產生0.26 - 0.36噸乙烯當量之廢棄石化產品。亦即有三分之一的石化產品被浪費（未被收集或妥善處理）和遺棄於環境中，其中以民生消費者端之廢棄比例為最高（與實際一致）。
- 由歷年上游物料表面消費量與廢棄量之變化可看出廢棄量佔表面消費量之比例逐年減少，於1999年後中游物料生產量（乙烯當量）大過於上游物料可供給量（乙烯當量），造成廢棄量為負值的情況，表示可能有其他的上游物料供給來源。
- 於Approaches B-3 ($\beta'=0.3513$) 與B-5 ($\beta'=0.3580$) 之比較可知，回收體系的存在確可以使廢棄量減少，所以對於石化業而言，回收體系的存在是有必要存在的。

敬請指教