

บทที่ 2

หลักการและความรู้พื้นฐาน

2.1 ธาตุหายาก (RARE EARTH)

⁽¹⁾ คำว่า “ธาตุหายาก” หรือ “rare earth elements” หรือ “rare - earths” โดยทั่วไปหมายถึงอนุกรมธาตุ ชื่อ “Lanthanide series” ในบางครั้งจึงเรียกธาตุหายากว่า lanthanides หรือ lanthanons หรือ lanthanoids ชื่อของอนุกรมธาตุนี้มาจากชื่อของธาตุ ธาตุแรกของอนุกรม คือ ธาตุแลนทานัม ซึ่งอนุกรมธาตุนี้ประกอบด้วย 15 ธาตุ เรียงลำดับกันตามหมายเลขอะตอมตั้งแต่ 57 - 71 ได้แก่ แลนทาแลียม (La) ซีเรียม (Ce) เพรซีโอดีเมียม (Pr) นีโออดีเมียม (Nd) โพรมิเทียม (Pm) ซาแมเรียม (Sm) ยูโรเพียม (Eu) แกโดลิเนียม (Gd) เทอร์เบียม (Tb) ดิสโพรเซียม (Dy) โฮลเมียม (Ho) เออร์เบียม (Er) ทูเลียม (Tm) อิตเทอร์เบียม (Yb) และลูทีเซียม (Lu) ทั้งหมดนี้มีตำแหน่งตามตารางธาตุจัดใน “Group IIIB” ซึ่งยังมีธาตุใน group เดียวกันอีก 2 ธาตุ คือ สแกนเดียม (Sc) และอิตเทรียม (Y) มีหมายเลขอะตอม 21 และ 39 ตามลำดับ ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายคลึงมากกับธาตุหายากและถูกนับรวมไว้ในกลุ่มของธาตุหายากด้วยจากคุณสมบัติทางเคมี ของธาตุต่างๆ ในกลุ่มธาตุหายากมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันมากทำให้ยากในการที่จะทำการแยกธาตุแต่ละตัวออก เทคนิคที่ได้เคยศึกษามาก่อน คือ การสกัดแยกโดยวิธี Liquid - Liquid Extraction โดยตัวที่ใช้ในการสกัดก็คือ tri butyl phosphate (TBP) กับ kerosene 50% v/v

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

Group	I	II	Transition elements										III	IV	V	VI	VII	VIII
Period																		
1	H 1																	He 2
2	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
3	Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
6	Cs 55	Ba 56	* 57-71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
7	Fr 87	Ra 88	† 89-103	Unq 104	Unp 105	Unh 106												
* Lanthanide series				La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
† Actinide series				Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103

รูปที่ 2.1 ตารางธาตุแสดงตำแหน่งหมู่ Lanthanide Series

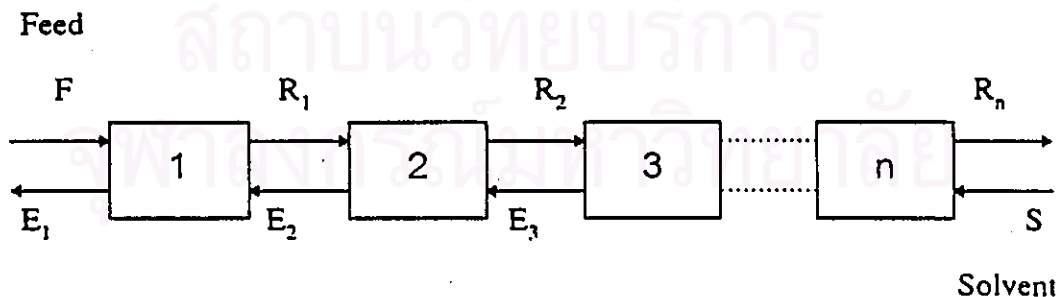
2.2 กระบวนการแยกสารโดยวิธีสกัดของเหลวด้วยของเหลว ^(2, 3, 4, 5)

(Liquid - Liquid Extraction Process)

2.2.1 การสกัดของเหลวด้วยของเหลว

เครื่องสกัดของเหลวทำหน้าที่สกัดสารที่ต้องการออกจากของเหลวผสมโดยใช้ตัวทำละลาย ซึ่งสารที่ต้องการสามารถละลายในตัวทำละลายได้ดีกว่าสารอื่นที่อยู่ในของเหลวผสม เครื่องสกัดของเหลวมักนิยมใช้ในการแยกสารไฮโดรคาร์บอนในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เช่น การแยกสารอะโรมาติกจากน้ำมันเตาเพื่อปรับปรุงคุณภาพการเผาไหม้ดีเซล หรือการสกัดสารอะโรมาติกจากของผสมพาราฟิน และแนฟเทนิกเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางอุณหภูมิกับความหนืดของน้ำมันเครื่อง หรือใช้เตรียมสารเบนซีน โทลูอิน และไซลีน ที่บริสุทธิ์จากรีฟอร์มเมท หรือสกัดฟีนอลจากทาร์เหลวที่ได้มาจากถ่านหิน หรือแม้กระทั่งการทำเพนนิซิลินให้บริสุทธิ์

กระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลว เป็นกระบวนการแยกสารซึ่งอยู่ในรูปของสารละลาย โดยอาศัยหลักการที่ว่า ความสามารถในการละลายที่ไม่เท่ากันของตัวถูกละลายในตัวทำละลายสองชนิด ในกระบวนการจะมีสารที่ต้องการแยกอยู่ในตัวทำละลายชนิดหนึ่ง สองชนิดจะไม่ละลายซึ่งกันและกัน หรือละลายได้น้อยมาก ทำให้ภายหลังการสกัดจะเกิดของเหลวสองเฟสแยกชั้นกันและตัวถูกละลายส่วนใหญ่จะเกิดการถ่ายเทมวลข้ามเฟสไปยังตัวทำละลายใหม่เรียกเฟสนี้ว่าเอกแทรกท์ (extracted) ส่วนสารตั้งต้นที่เหลือจากการสกัดเรียกว่า ราฟฟิเนท (raffinated)



รูปที่ 2.2 แผนภาพการสกัดของเหลวด้วยของเหลว

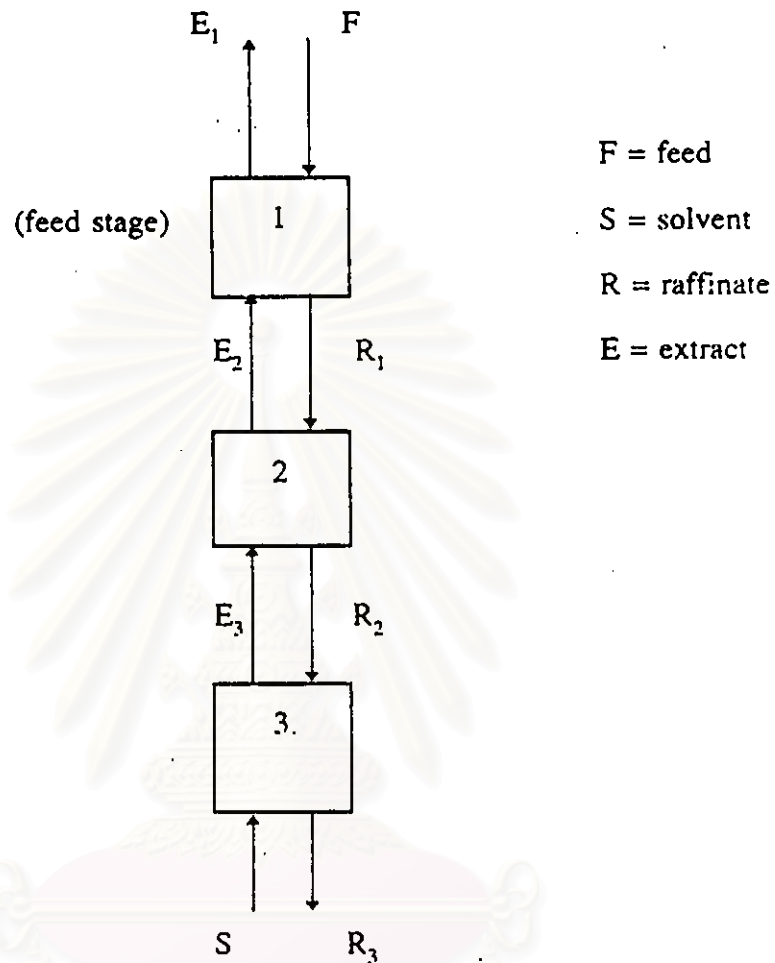
2.2.2 วิธีการที่สำคัญในขบวนการสกัดสารมีดังนี้

- ก. นำของเหลวผสมที่เป็นสารป้อนมาสัมผัสกับตัวทำละลายที่เลือกให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการสกัดออกในของเหลวผสม แต่ต้องไม่ละลายกับสารอีกตัวหนึ่งในของเหลวผสม
- ข. ภายหลังจากการสัมผัสกันเป็นเวลาพอสมควรเฟสทั้งสองจะแยกออกจากกัน
- ค. แยกหรือนำเอาตัวทำละลายที่อยู่ในแต่ละเฟสกลับมาใช้ใหม่

วิธีการข้อ ก. และข้อ ข. อาจจะรวมกันอยู่ในเครื่องมือที่เป็นชนิดเดียวกัน หรือเป็นขั้นตอน (stage) หลายๆ ขั้นตอนต่อกันอย่างอนุกรมตามแนวนอน และในแต่ละขั้นตอนจะมีการกวนเพื่อให้เฟสทั้งสองสัมผัสกันได้ดี เช่นเครื่องสกัดแบบ mixer-settler ส่วนวิธีการข้อ ค. เกี่ยวข้องกับการกลั่นแยกสารจึงใช้เครื่องมือคนละชนิดกับวิธีการข้อ ก. และข้อ ข.

ในการปฏิบัติงานจริงในกระบวนการสกัดของเหลวด้วยวิธีของเหลวนี้ จะมีการทำงานในเครื่องมือที่มีลักษณะเป็นหอ (Column) หรือเป็นขั้นตอนหลายขั้นตอน (multistage) ต่อกันอย่างอนุกรม ส่วนใหญ่นิยมการป้อนสารเข้าสองทางให้เกิดการไหลสวนทางกัน (Counter current) และมีการกวนอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้เฟสทั้งสองสัมผัสกันได้ดี

กระบวนการสกัดอย่างไหลสวนทางกันซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งของการสกัดของเหลวด้วยของเหลวเป็นที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากสามารถใช้กับตัวถูกทำละลาย ที่มีค่าอัตราส่วนของการกระจายใกล้เคียงกันมากๆ ได้ เพื่อแยกสารที่ต้องการสกัดให้มีความบริสุทธิ์สูง โดยใช้เพียงไม่กี่ขั้นตอน ก็จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารป้อน และการเปลี่ยนอัตราส่วน (ratio) ของอัตราการไหล จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 2.3 แผนการแสดงการสกัดอย่างไหลสวนทางกัน

ขั้นตอน(stage) หมายถึง การสัมผัสกันระหว่างสองเฟสซึ่งจะเกิดการถ่ายเทมวลข้ามเฟสของตัวถูกละลายตามด้วยการแยกตัวของของเหลวทั้งสองที่ไม่ละลายซึ่งกันและกันภายหลังจากออกจากขั้นตอนใดๆ จะพบว่าปริมาณของตัวถูกละลายในเอกแทรกต์(Extract) จะเพิ่มมากขึ้น

ขั้นตอนสมดุล (Equilibrium Stage) หมายถึง ขั้นตอนใดๆ ที่ให้เวลาในการสัมผัสกันระหว่างสองเฟส นานพอจนกระทั่งตัวถูกละลายในสองเฟสเกิดสมดุลกัน ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสองเฟสจะมีค่าคงที่

⁶⁾โดยปกติการสกัดด้วยของเหลวจะเป็นการสกัดแบบหลายขั้นตอน(multi-stage)แบ่งการทำงานตาม ลักษณะของการไหลได้อีกหลายแบบคือ

1. การทำงานตามขั้นตอนแบบ Cocurrent นั้นของเหลวที่ถูกนำมาสกัดและของเหลวที่ใช้เป็นตัว สกัดจะไหลไปทางเดียวกัน เป็นการเพิ่มเวลาในการสกัด (residence time) แต่ไม่ได้เพิ่มปริมาณการแยกสกัด เกินไปกว่าการแยกสกัดเพียงขั้นตอนเดียว (single stage)
2. การทำงานตามขั้นตอนแบบ Cross current นั้น ตัวสกัดใหม่จะถูกเติมเข้าไปเพื่อสกัดในแต่ละขั้น ตอนแล้วไหลแยกออกไป ทำให้สามารถสกัดแยกสารออกได้ปริมาณมากกว่าการสกัดแบบขั้นตอนเดียว
3. ส่วนการทำงานตามขั้นตอนแบบ Countercurrent ตัวสกัดจะไหลสวนทางกับของเหลวที่ถูกนำ มาสกัดทำให้สามารถสกัดแยกสารออกมาได้ปริมาณมากและมีความเข้มข้นสูง โดยทั่วไปจะใช้วิธีการสกัด แบบนี้มาใช้ในการสกัดสารให้มีความบริสุทธิ์สูง

แต่ในบางครั้งสารละลายที่นำมาสกัดจะมีองค์ประกอบของสารที่ต้องการสกัดแยกมากกว่าต้องชนิด ขึ้นไปหรือบางชนิดมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันมาก และไม่สามารถหาตัวสกัดที่มีประสิทธิภาพสูงในการสกัด แยกได้หรืออาจทำได้แต่ต้องใช้ขั้นตอนการสกัดจำนวนมาก จึงใช้เทคนิคการป้อนสารเวียนรอบ (reflux) มา ใช้แก้ปัญหานี้

เทคนิคการป้อนสารเวียนรอบ (reflux) ซึ่งจะทำให้การสกัดแยกเกิดขึ้นได้ดีขึ้น โดยที่ไม่ต้องเพิ่มขั้น ตอนการสกัด โดยการสกัดให้ของเหลวที่ไหลออกจากการสกัดแบบ counter current ทั้งตอนต้นและตอน ท้ายหรือตอนใดตอนหนึ่งหลังจากถูกเปลี่ยนสถานะและความเข้มข้นให้ใกล้เคียงกับของเหลวที่ถูกนำมาสกัด เริ่มแรกแล้ว ถึงกลับเข้ามาในขั้นตอนสกัดตอนต้นๆ หรือตอนท้ายๆ ของระบบสกัดใหม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 เครื่องมือสกัดของเหลวด้วยของเหลวในอุตสาหกรรม ⁽⁷⁾

ความต้องการพื้นฐานในการใช้เครื่องสกัดในทางอุตสาหกรรมพอสรุปได้ดังนี้

1. ประสิทธิภาพในการสกัด
2. ผลผลิตสูง
3. ปริมาตรต่ำ
4. ใช้พื้นที่น้อย , ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาต่ำ

2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดคือ

1. องค์ประกอบในเฟส
2. อัตราส่วนของเฟส
3. คุณสมบัติของเฟส
4. อุณหภูมิ
5. พลังงานที่ให้เข้าไป
6. การสกัดกลับ

2.5 การแบ่งประเภทของเครื่องมือสกัดของเหลวด้วยของเหลว

เครื่องมือในการสกัดของเหลวด้วยของเหลวสามารถแบ่งได้หลายประเภท แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงการแบ่งประเภทเครื่องมือลักษณะใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท

(2.5.1) ตามลักษณะการใช้งานในอุตสาหกรรม เครื่องมือที่ใช้งานในอุตสาหกรรม แบ่งได้

(2.5.1.1) Stagewise เครื่องมือสกัดของเหลวด้วยของเหลวประเภทนี้จะมีจำนวนขั้นตอนผสมคูณแบ่งแยกให้เห็นอย่างชัดเจน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนผสมคูณนั้นจะมีประสิทธิภาพในการสกัดแยกสารสูง

(2.5.1.2) Differential เครื่องมือสกัดของเหลวด้วยของเหลวประเภทนี้จะไม่มีจำนวนชั้นคอนสตรัคชันแบ่งแยกที่ชัดเจน

(2.5.2) ตามลักษณะการใช้พลังงานกลจากภายนอก แบ่งได้ 2 ประเภทคือ

(2.5.2.1) ประเภทไม่ใช้พลังงานกลภายนอกเข้าช่วย เช่น คอลัมน์แบบสเปรย์ (Spray Column) , คอลัมน์แบบแพค (Packed Column) และคอลัมน์แบบซีฟเพลท (Sieve-plate Column)

(2.5.2.2) ประเภทใช้พลังงานกลภายนอกเข้าช่วย เช่น การกวน (agitation) ซึ่งได้แก่ คอลัมน์แบบแกนกลางหมุน (RDC หรือ Rotating - Disc Contactors) และการเขย่า (Pulsation) ได้แก่ คอลัมน์แบบพัลส์แพค (Pulsed Packed) หรือพัลส์ซีฟเพลท (Pulsed Sieve-plate)

ประโยชน์ของคอลัมน์ที่ไม่มีเครื่องกวนทางกล คือ ค่าใช้จ่ายต่ำและเกิดการผสมน้อย ส่วนประโยชน์ของคอลัมน์ที่มีเครื่องกวนทางกลจะมีประโยชน์มากกว่าเพราะ ทำให้เกิดการแตกตัวของหยดในคอลัมน์ ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการแลกเปลี่ยนมวล ดังนั้นประสิทธิภาพการสกัดของคอลัมน์ที่มีเครื่องกวนทางกลจะดีกว่าไม่มีเครื่องกวนทางกล อย่างไรก็ตามถ้ามีการกวนมากเกินไปอาจทำให้เกิดการผสมย้อนกลับ (backmixing) ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายมวลสารลดลง นอกจากนี้ยังทำให้ค่าความสูงของหน่วยส่งผ่าน (Height of Transfer Units, HTU) เพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าไม่ได้คำนึงถึงการไหลย้อนกลับในการออกแบบความสูงของคอลัมน์ที่คำนวณได้จะต่ำกว่าที่ควรจะเป็น เพราะฉะนั้นควรต้องมีการออกแบบเพื่อป้องกันการเกิดผลของการผสมย้อนกลับ ซึ่งจะแสดงการออกแบบนี้ใน York Scheibel column ข้อเสียเปรียบของคอลัมน์ที่มีการกวนทางกล คือถึงแม้ว่าจะมีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนมวลสูงกว่าแบบไม่มีเครื่องกวนทางกล แต่ก็จะมี การผสมตามแนวแกนสูงด้วย โดยทั่วไปแล้วใช้พลังงานการกวนตามแนวแกนมากกว่าการกวนตามแนวรัศมีและราคาดำเนินการสูง เช่นการกวนแบบพัลส์

(2.5.3) ตามลักษณะการวางตัวของคอลัมน์ แบ่งได้ 2 ประเภทคือ

(2.5.3.1) คอลัมน์ตามแนวตั้ง (Vertical column type Extractors) ซึ่งจะแบ่งประเภทได้ดังตารางที่ 2.2.1.1

(2.5.3.2) คอลัมน์ตามแนวนอน (Horizontal Extractors)

- Mixer settlers
- Centrifugal extractors
- Horizontal rotating disc contractor

- Raining bucket extractor

ตารางที่ 2.1 แสดงประเภทของเครื่องมือสกัดของเหลวด้วยของเหลวที่เป็นกอลัมน์ตามแนวตั้ง

กอลัมน์	Vertical Differential Contactor	Vertical Stagewise Contactors
- กอลัมน์ที่ไม่ใช้พลังงานกลเข้าช่วย (Non Mechanically Agitated Columns)	- Spray - Packed column	- Perforated plate column
- กอลัมน์ที่ใช้พลังงานกลเข้าช่วย (Mechanically Agitated Columns)	- Pulsed packed column - Pulsed spray column	- Pulsed perforated plate column - Rotating Disc contactor (RDC) - Oldshue Rushton column - Kuhni column - Karr column - Scheibel column - York Scheibel column - Assymmetricrotating Disc column Disc and ring pulsed column- Pulsed rotating disc column

ในการใช้งาน contactor ให้เหมาะสมควรต้องทราบลักษณะเด่นและลักษณะด้อยเพื่อที่จะพิจารณาให้เหมาะสมสำหรับการใช้งาน ดังตารางที่ 2.2.

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะเด่นและลักษณะด้อยของ contactor และ column

Column	ลักษณะเด่น	ลักษณะด้อย
Packed column	<ul style="list-style-type: none"> - สร้างง่าย - ไม่ต้องใช้ไฟฟ้าในการเขย่าเครื่อง - ปริมาณความจุสูงสุดสูงมาก - ง่ายต่อการสกัด 	<ul style="list-style-type: none"> - การที่ไม่มีการเขย่าแบบใดแบบหนึ่งทำให้พื้นที่การถ่ายเทมวลสารน้อย ค่าของ HETP และประสิทธิภาพต่ำ
Pulsed perforated-plate column	<ul style="list-style-type: none"> - การรวมตัวและการกระจายตัวกลับไปกลับมาจะมีผลต่อการแลกเปลี่ยนมวล - ง่ายต่อการสกัด 	<ul style="list-style-type: none"> - สร้างยากกว่า Pulsed packed column เนื่องจากการสร้าง plate ที่มีขนาดพอดีกับท่อยาวของคอลัมน์ทำได้ยากที่สุด
Spray column	<ul style="list-style-type: none"> - ราคาไม่แพง - ใช้ได้กับของเหลวที่ตกปรกและกักร้อนที่ Throughput สูง 	<ul style="list-style-type: none"> - ประสิทธิภาพของคอลัมน์ในการถ่ายเทมวลสารต่ำ
Rotating Disc Contactor	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้พลังงานน้อยกว่าคอลัมน์แบบ pulsed มาก - สร้างง่ายกว่าคอลัมน์เล็กน้อย - ปริมาณความจุดีกว่าคอลัมน์แบบ pulsed มาก 	<ul style="list-style-type: none"> - ขนาดหยดใหญ่กว่าแบบคอลัมน์ทำให้ประสิทธิภาพในแง่ความสูงน้อยกว่าอีกด้วย

ขนาดของเครื่องที่ต้องการให้เกิดการแยกเป็นปัจจัยหนึ่งของอัตราการถ่ายเทตัวถูกละลายระหว่างเฟสทั้งสองที่ไม่ละลายกัน เครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซตเตอร์จะเหมาะสมกับระบบที่มีอัตราการถ่ายเทมวลช้า ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการจึงต้องมากขึ้นเพื่อให้เกิดการถ่ายเทมวลจนสมดุล ส่วนเครื่องสกัดแบบคิฟเฟอร์เรนเทียลจะเหมาะสมกับระบบที่มีอัตราการถ่ายเทมวลเร็ว

เครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซตเตอร์เป็นแบบสเตทไวสที่ใช้กันมากที่สุด การออกแบบที่ถูกต้องจะทำให้สามารถปฏิบัติงานได้ดีและรวดเร็ว เนื่องจากความยุ่งยากในการออกแบบและการใช้งานของหอ ทั้งนี้เพราะความเชื่อถือและความแน่นอนกว่าในการออกแบบ โดยไม่ต้องทำการทดลองในระดับโรงงานต้นแบบ ซึ่งจะเสียค่าใช้จ่ายสูง จึงทำให้มีการใช้เครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซตเตอร์

เครื่องสกัดแบบแรงหนีศูนย์กลางใช้เวลาในการสัมผัสสั้นและการแยกเฟสที่มีประสิทธิภาพสามารถเป็นได้ทั้งแบบสเตทไวสและคิฟเฟอร์เรนเทียล



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 เครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซตเตอร์

เครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซตเตอร์แบ่งได้เป็นสองส่วน ดังรูปที่ 2.4 คือ ส่วนผสม(mixer) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เฟสหนึ่งกระจายเข้าไปในอีกเฟสหนึ่งโดยการใช้พลังงานกลหรือพลังงานลมเข้าไปเพื่อเกิดการสกัดตัวถูกละลายระหว่างเฟสทั้งสองที่ไม่ผสมกัน และส่วนแยกพัก (settler) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เฟสทั้งสองแยกจากกัน การติดตั้งเครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซตเตอร์นี้อาจติดตั้งในแนวตั้งหรือแนวระดับแล้วให้มีการไหลแบบสวนทางภายในหรือระหว่างอุปกรณ์ การสูบ (pumping) ภายในและระหว่างอุปกรณ์อาศัยระบบกล, ระบบไฮดรอลิกหรืออาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการออกแบบคือ คุณสมบัติของเฟส, รูปร่างของช่องผสมและช่องแยกพัก, ลักษณะภายในของช่องผสมและช่องแยกและพลังงานที่ให้แก่ตัวกวน

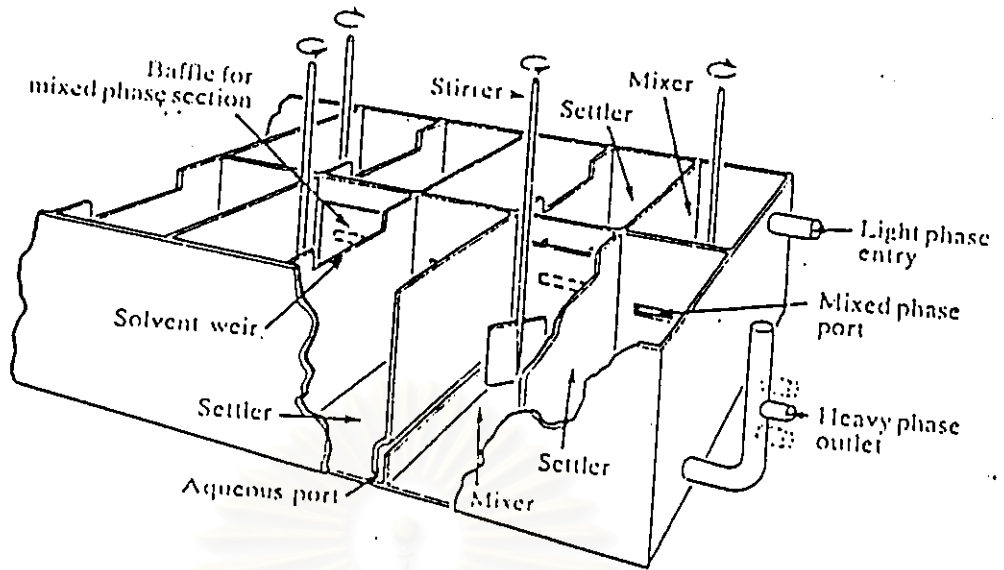
จุดมุ่งหมายของการออกแบบคือทำให้เครื่องมือนี้มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่เป็นได้ นอกจากนี้ช่องผสมควรมีขนาดที่เหมาะสมที่จะทำให้มีเวลาเพียงพอต่อการเข้าสู่สภาวะสมดุลของทั้งสองเฟส ช่องแยกพักควรมีขนาดใหญ่พอที่จะให้เกิดการแยกเฟสอย่างสมบูรณ์ ในระบบของเครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซตเตอร์โดยทั่วไปเวลาที่ใช้ในการผสมมักไม่เกินหนึ่งถึงสองนาทีกว่า แม้ว่าระบบที่มีอัตราการถ่ายเทมวลสารต่ำอาจใช้เวลามากกว่าบ้าง สมรรถนะการทำงานจริงพิจารณาจากประสิทธิภาพของแต่ละขั้นตอน

ประสิทธิภาพของขั้นตอนจะลดลง ถ้าเฟสไม่ได้ถูกแยกจากกันอย่างสมบูรณ์ในช่องแยกพักลักษณะเช่นนี้ไม่มีผลนักต่อขั้นตอนช่วงกลาง แต่ในขั้นตอนสุดท้ายหากเกิดเหตุการณ์เช่นนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่บริสุทธิ์นัก

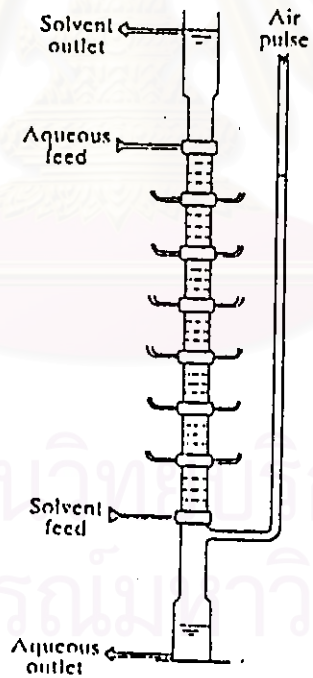
2.7 เครื่องสกัดแบบพัลส์คอลัมน์ (Pulsed column)

เครื่องสกัดแบบพัลส์คอลัมน์ดังรูปข้างล่าง เป็นเครื่องสกัดแบบคิฟเฟอร์เรนเทียล โดยเฟสหนึ่งจะกระจายตัวและไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับอีกเฟสหนึ่ง โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงและผลกระทบจากความแตกต่างของความหนาแน่นสูงจะกระจายตัวและแยกตัวที่ส่วนล่างของคอลัมน์ การลดความสูงของคอลัมน์ทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ภายในที่ช่วยเพิ่มการสัมผัสกันของเฟสทั้งสอง ความสูงของคอลัมน์อาจลดลงได้อีกโดยอาศัยพลังงานลม พารามิเตอร์ของการออกแบบคือ คุณสมบัติของเฟส , รูปร่างเชิงเรขาคณิตของคอลัมน์ และพลังงานที่ให้

คอลัมน์ถ้าจะจำแนกออกพอจำแนกได้ 2 แบบขึ้นอยู่กับ พลังงานที่ได้มาจากอุปกรณ์แบบโรตารีหรือแบบลูกสูบ แต่แบบที่นิยมและเหมาะสมคือแบบลูกสูบ



รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องสกัดแบบ mixer settler



รูปที่ 2.5 เครื่องสกัดแบบ Pulsed Column

2.8 เครื่องสกัดแบบเซนติฟิวจ์ (Centrifugal device)

เครื่องสกัดแบบเซนติฟิวจ์ แสดงดังรูป 2.6 เครื่องสกัดแยกเซนติฟิวจ์เป็นได้ทั้งแบบสเตทไวทและดิฟเฟอร์เรนเชียล มีหลักการทำงานโคนเฟสหนึ่งกระจายและไหลสวนทางกับเฟสอื่น โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างเฟสทั้งสอง หลักการออกแบบเครื่องสกัดแบบเซนติฟิวจ์เหมือนเครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซตเลอร์และเครื่องสกัดแบบพัลส์คอลัมน์ โดยพารามิเตอร์คือคุณสมบัติของเฟส รูปทรงเรขาคณิตของเซนติฟิวจ์ ลักษณะภายในของเซนติฟิวจ์และแรงของการหมุน

หากจำแนกรูปแบบของอุปกรณ์ประเภทนี้ก็มีทั้งแบบขั้นตอนเดียวและหลายขั้นตอน และมีทั้งแบบที่ติดตั้งในแนวระดับ ข้อดีของอุปกรณ์ประเภทนี้คือ

1. เวลาพัก (residence time) สั้นกว่า
2. ปริมาณสารที่บรรจุ (hold-up) ต่ำกว่า
3. ใช้เนื้อที่น้อยกว่า
4. ทำความสะอาดง่าย
5. สามารถใช้กับสารละลายที่มีช่วงคุณสมบัติทางกายภาพในการใช้งานกว้างกว่า

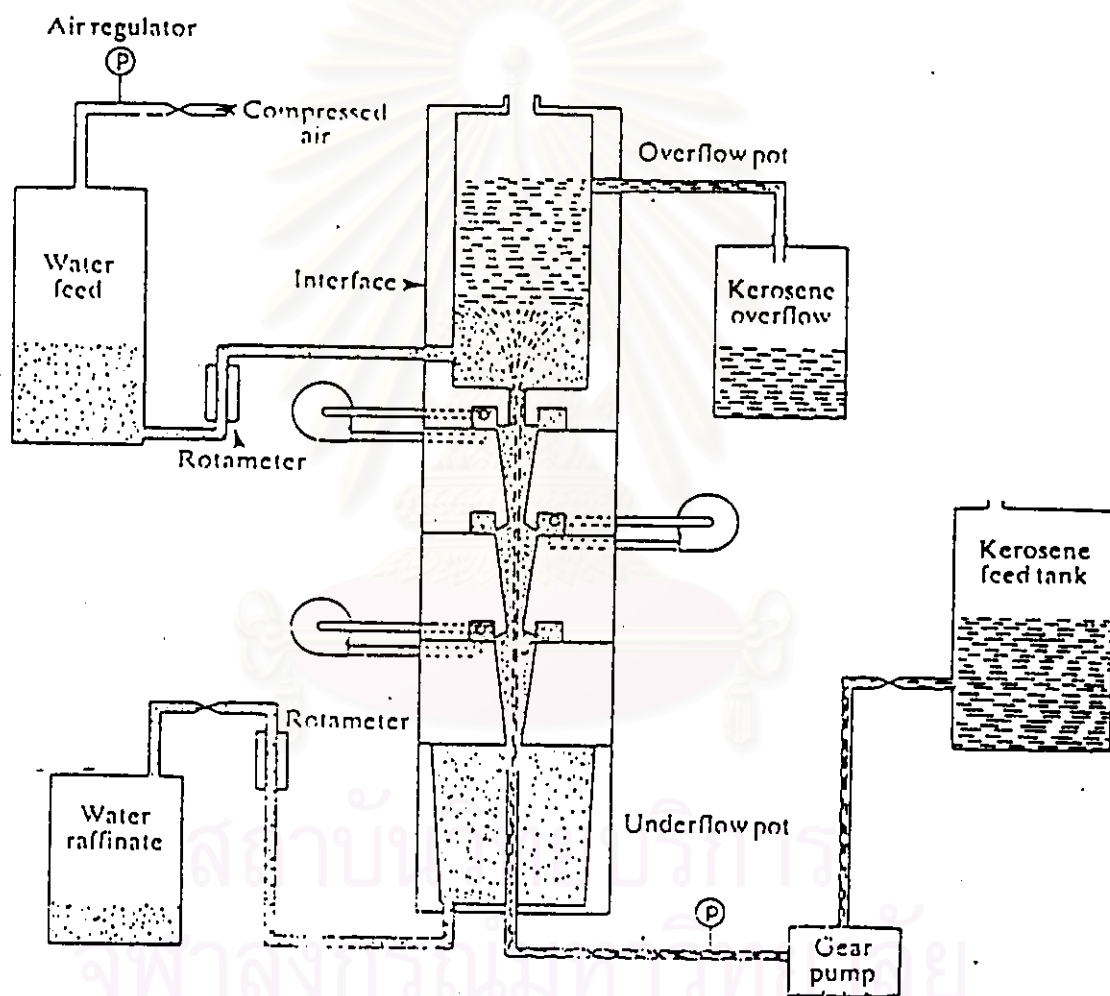
2.9 เครื่องสกัดโดยใช้หลักไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic extraction)

เครื่องสกัดโดยใช้หลักไฟฟ้าสถิตย์ แสดงดังรูปที่ 2.7 อุปกรณ์แบบนี้อาศัยหลักการหยดของ เฟสกระจาย (dispersed phase) ซึ่งถูกให้ประจุและถูกเร่งผ่านเฟสต่อเนื่อง (continuous phase) เนื่องจากความต่างศักย์ไฟฟ้า การสั้นสะเทือนของหยดมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างหยดและเฟสต่อเนื่อง ซึ่งหยดกำลังเคลื่อนที่อยู่ภายในสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารของเฟสกระจายและเฟสต่อเนื่องเพิ่มขึ้นด้วยการสั้น และสามารถแสดงให้เห็นว่าสัมประสิทธิ์ของเฟสกระจายสำหรับหยดที่กำลังสั้นขึ้นอยู่กับสภาพการไหลแบบปั่นป่วนภายในหยดสาร

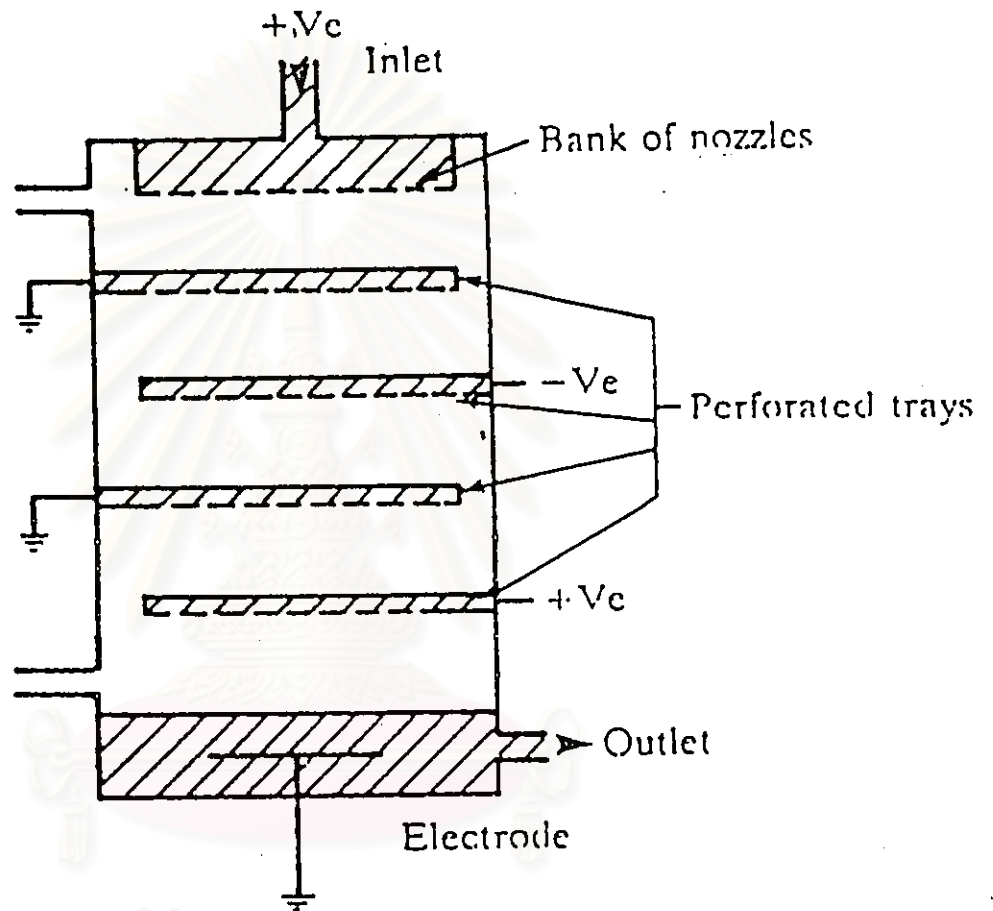
เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงแก่หัวฉีดและให้ขั้วที่เป็นกราวด์ติดตั้งอยู่ข้างใดเมื่อหยดสารเกิดขึ้นที่หัวฉีดจะถูกทำให้ประจุ เมื่อออกจากหัวฉีดหยดถูกแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงทางไฟฟ้า ซึ่งความเร็วของหยดจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าแทนที่จะตกลงมาตามสนามแรงโน้มถ่วงเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ประจุบนหยดสารยังทำให้เกิดแรงทางกลทิศทางด้านอกจากผิวของสาร ดังนั้น

แรงดึงของผิวระหว่างเฟสที่เป็นหยดสารกับสารที่เป็นเนื้อสารจะลดลง ผลลัพธ์จากแรงทั้งสองจะเพิ่มการสัมผัสของหยดซึ่งก็คือเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสาร

ในคอลัมน์ที่แยกของเหลวออกจากของเหลวสามารถหาอัตราการถ่ายเทมวลจากผลคูณของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารและพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างสารทั้งสอง ยิ่งหยดเล็กลงพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างสารทั้งสองยิ่งมากขึ้น ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารสูงขึ้น



รูปที่ 2.6 เครื่องสกัดแยกแบบ Centrifugal Divice



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รูปที่ 2.7 เครื่องสกัดโดยใช้หลักไฟฟ้าสถิตย์

2.10 การเลือกเครื่องมือในการสกัด

โดยทั่วไปจะมีการพิจารณาจากประสิทธิภาพและทางเศรษฐกิจ โดยต้องพิจารณาตัวถูกละลายถึงคุณสมบัติทางด้านอัตราการใช้ และคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์และเคมีของระบบที่จะสกัด บางครั้งอาจเกิดความยุ่งยากคือสารอาจเป็นของแข็ง, อิมัลชัน (emulsion) และวัสดุที่ย่อยสลายง่าย ซึ่งต้องนำมาพิจารณาด้วย พื้นที่ที่จะวางเครื่องมือในการสกัดก็มีความสำคัญ สุดท้ายคือราคาค่าติดตั้ง บำรุงรักษา และการเดินเครื่อง ต้องประมาณขึ้นจากเครื่องมือในการสกัดซึ่งจะต้องมีการพิจารณาในการสกัดได้อีกด้วย ดังในตารางที่ 2.3 แสดง performance characteristic ของเครื่องมือสกัดในเชิงพาณิชย์

Pratt (ค.ศ.1954) มีการเสนอรายละเอียดขบวนการเพื่อที่จะใช้ในการเลือกเครื่องมือในการสกัดซึ่งเป็นพื้นฐานในการออกแบบต่าง ๆ แต่ข้อเสียเปรียบของขบวนการนี้คือในเครื่องมือที่อยู่ในระดับการเลือกที่เท่ากันจะมีตัวแปรมากมายที่ต้องพิจารณา

Oliver (ค.ศ.1966) มีการเสนอการเลือกเครื่องมือสกัดคือเลือกในช่วงกลางของกำลังไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับการกระจายระหว่าง 2 เฟส คอลัมน์ที่มีการกววนโดย rotor เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดแต่ไม่เหมาะสมกรณีมีอิมัลชันที่เสถียร ในสถานะนี้ทางเลือกที่เหมาะสมเป็น centrifugal extractors , raining bucket contractors และ horizontal rotary disc contractor คอลัมน์ที่ไม่มีการกววนสามารถใช้ได้ถ้าความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่ำ

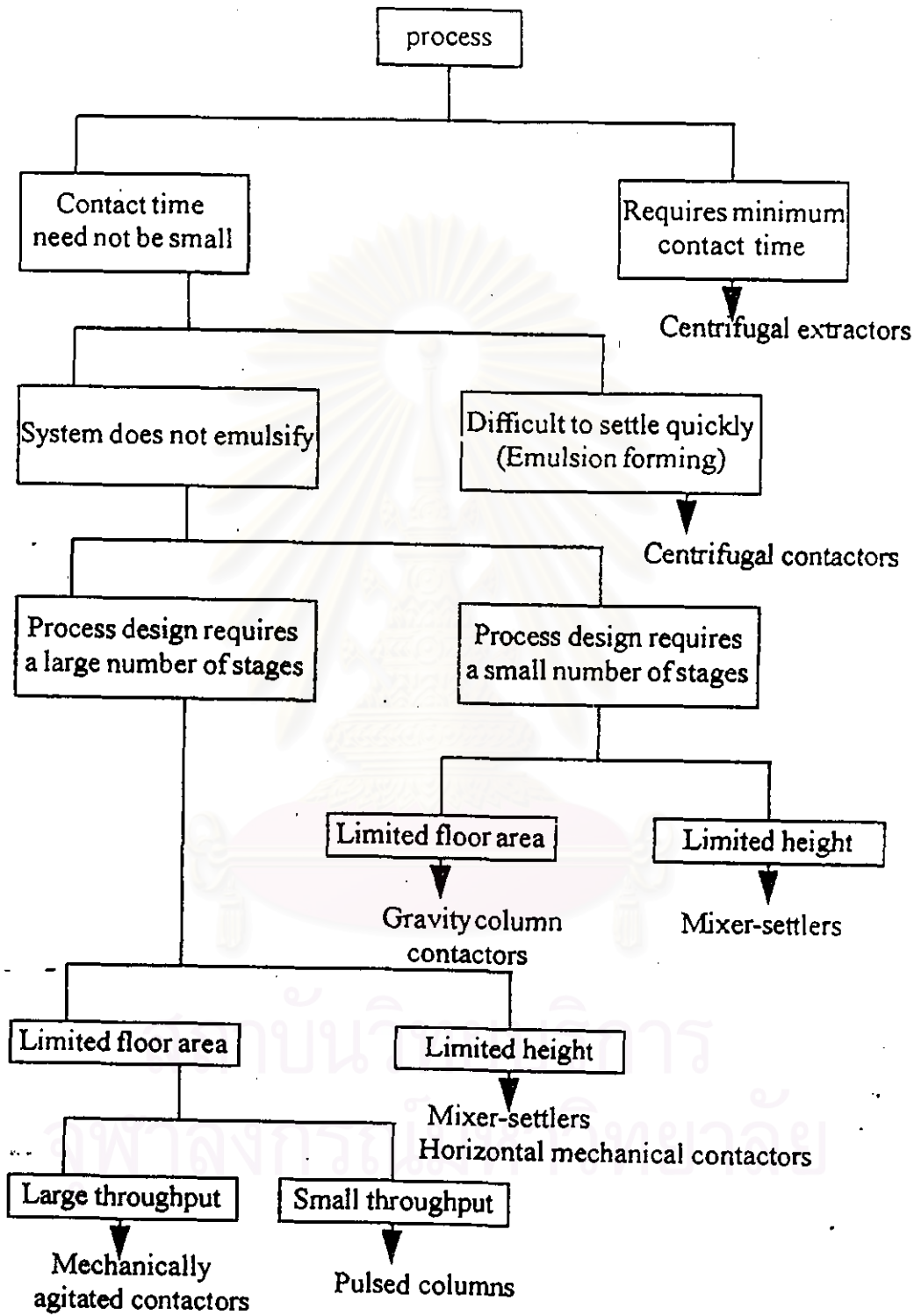
ปัจจุบัน Hanson (ค.ศ.1968) มีการเสนอการเลือกเครื่องมือสกัดของเหลวด้วยของเหลวโดยใช้ chart ซึ่งเป็นวิธีการเลือกที่รวดเร็วดังรูปที่ 2.15 ซึ่งจะรวมปัจจัยที่ช่วยในการเลือกเครื่องมือในการสกัด

วิธีของ Oliver และ Hanson จัดว่าเป็นการเลือกเครื่องมือในการสกัดที่คืออย่างไรก็ตามขบวนการนี้จะต้องพิจารณาค่าทางเศรษฐกิจเป็นสำคัญก่อนการตัดสินใจโดยทั่ว ๆ ไป จะเริ่มที่ตัวเลือกของเครื่องมือในการสกัดที่ครอบคลุมถึงคุณสมบัติของระบบเฉพาะ ประสิทธิภาพในการบำรุงรักษา และการทำงานที่แน่นอน

ดังนั้นจะพบว่าเหตุที่เลือก Pulsed column จากรูปที่ 2.8 เพราะว่าสารที่ต้องการสกัดเป็นสารที่มีกัมมันตภาพรังสีและสกัดแเรอ์ทได้ซึ่งต้องใช้อัตราการใช้พื้นที่ (throughput) น้อย , ระบบสารไม่เป็นอิมัลชัน , ต้องการคอลัมน์ที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง และมีเวลาในการสัมผัสสั้นเพื่อที่จะให้มีการแลกเปลี่ยนมวลสูง

ตารางที่ 2.3 แสดง Performance Characteristic ของเครื่องมือสกัดในเชิงพาณิชย์

Equipment	Liquid capacity (ft ³ /ft ² .hr)	HETS(ft)	Stage spacing	Stage Efficiency	Typical Application
Spray Column	50-250	10-20	-	-	NaCl from NaOH Using aq. NH ₃
Packed Column	20-150	5-20	-	-	Phenol recovery
Perforated-plate Column	10-200	1-20	6-24 in	30% for 4-8 in. plate spacing	Furfural lube oil process
Baffle Column	60-105	-	4-6 in	5-10%	Acetic acid recovery
York-Scheibel column	50-100	1-2	1-2 ft mixer unit	80-100%	Pharmaceutical and organic chemicals recovery
Podbielniak	1,000-20,000 gal/hr	-	-	-	Antibiotics extraction
Suwesta	3,800 gal/hr	-	-	-	Penicillin extraction
Mixer-settler	-	-	1 stage/unit 75-100%	75-100%	Duo-Sol lube Oil process



รูปที่ 2.8 แสดงหลักการในการเลือกเครื่องมือสกัดของเหลวด้วยของเหลว

2.11 เครื่องสกัดแบบพัลส์คอลัมน์ (Pulsed Extractor)

2.11.1 ประวัติความเป็นมาของ Pulsed extractor

เมื่อ 50 ปีที่แล้ว pulsed column ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านนิวเคลียร์สำหรับขบวนการสกัดแยกแร่ยูเรเนียมและใช้ในขบวนการเกี่ยวกับเชื้อเพลิงเตาปฏิกรณ์ปรมาณู ซึ่งทำให้มีการปรับปรุง contractor ให้มีความเหมาะสมต่อสภาพการใช้งาน

คอลัมน์ในการสกัดของเหลวด้วยของเหลวซึ่งถูกพัฒนาใช้กันอย่างแพร่หลายในสาขาทางด้านนิวเคลียร์ จากข้อมูลที่ผ่านมาจะพบว่า pulsed column มีประโยชน์มากในด้านนี้ คือ มีการควบคุมการทำงานง่าย มีความทนทานสูง มีประสิทธิภาพสูงและปริมาณต่ำ

คอลัมน์ที่มีการกวนทางกล ด้วยชุดการหมุนทั่ว ๆ ไปแล้วจะให้ความจุหรืออัตราการไหลต่อพื้นที่ (throughput) น้อยกว่า contractor ที่ไม่มีเครื่องกวน ถึงแม้ว่าแบบมีเครื่องกวนจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าแบบไม่มีเครื่องกวน ดังนั้นในการทดลองที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาคอลัมน์สกัดด้วยการมีการกวน เช่น การพัลส์ ในเครื่องกวนแบบพัลส์ พลังงานที่ให้ในระบบจะนำไปใช้ในการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยวิธีการพัลส์ เช่น ลูกสูบที่ชักกลับไปกลับมา (reciprocating piston) , ลูกสูบ (bellow) , diaphragm หรือชิ้นส่วนของเพลทที่เจาะรูที่มีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาขณะที่เฟสของเหลวทั้งสองสัมผัสกันเมื่อมีการไหลสวนทางกันในคอลัมน์

ลักษณะการทำงานของคอลัมน์ที่มีการพัลส์จะแสดงโดย Van Dijet (ค.ศ.1935) ได้เป็นผู้เสนอวิธีการพัลส์ 2 แบบ

1. การใช้เพลท (plate) ที่มีการเจาะรู โดยจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาขึ้นและลงตามแนวตั้งของคอลัมน์เมื่อมีของเหลวไหลผ่าน
2. โครงสร้างภายในของการสกัด เช่น packing และ sieve-plate หุคหนึ่ง ขณะที่ของเหลวถูกพัลส์ด้วยไฮดรอลิกโดยกลไกของการพัลส์ภายนอก พลังงานที่ให้ในการพัลส์จะเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนมวลโดยการเพิ่มพื้นที่สัมผัสหรือจะสร้างให้เกิดความปั่นป่วนสูงขึ้นในระบบ โดยการให้ความเร่งและความหน่วงกลับไปกลับมาในของเหลว

2.11.2 การทำงานโดยระบบพัลส์ (pulse generation)

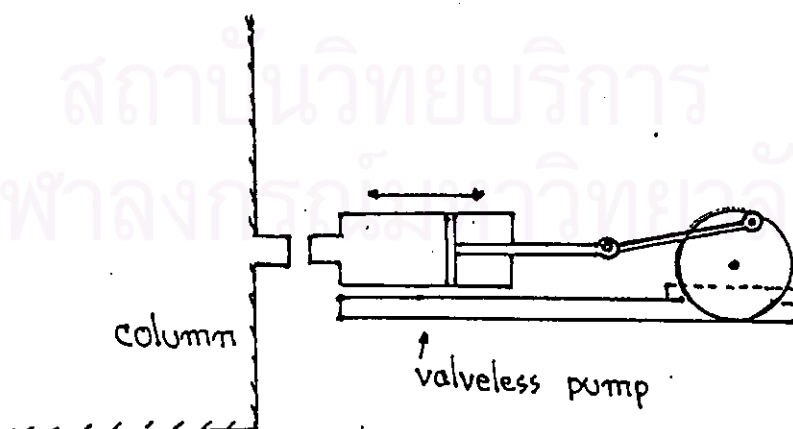
ทั่ว ๆ ไปนั้นการพัลส์จะต่างกันขึ้นอยู่กับความถี่และแอมพลิจูดของพัลส์อุปกรณ์ทางกลที่ต่างกันจะให้คลื่นพัลส์ต่าง ๆ กัน เช่น คลื่นรูปไซน์ (sine wave) , รูปฟันเลื่อย (sawtooth wave) และรูปกึ่งสี่เหลี่ยม (semi-square wave)

อุปกรณ์ชุดที่ 1 คือ พัลส์ โดยทั่วไปจะใช้เครื่องกำเนิดพัลส์ ที่ประกอบด้วย valveless plunger pump เชื่อมติดอยู่กับส่วนบนของคอลัมน์โดยใช้การเชื่อมต่อโดยท่อ รูปแบบการเคลื่อนที่ของพัลส์เป็นรูปไซน์ ความถี่และแอมพลิจูดจะเปลี่ยนโดยเปลี่ยนหน่วยของเกียร์และการปรับสโตรก (stroke) ของ valveless plunger pump ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 2.9 (a)

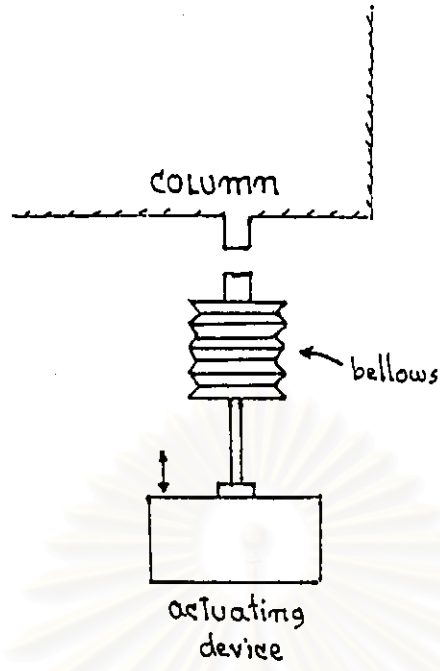
อุปกรณ์ชุดที่ 2 ที่ใช้คือ พัลส์ ประกอบด้วยลูกสูบ (bellow) ที่เป็นพลาสติกหรือโลหะดังรูปที่ 2.9 (b) ลูกสูบจะติดอยู่กับส่วนบนของคอลัมน์และจะมีตัว follower และลูกเบี้ยวติดอยู่ด้วย อุปกรณ์ชนิดนี้จะให้คลื่นรูปต่าง ๆ คือ คลื่นรูปไซน์, ฟันเลื่อย และกึ่งสี่เหลี่ยม สามารถทำงานโดยลูกสูบที่ชักไปมาโดยพนักงานทางกล, ไฮดรอลิกหรือการควบคุมด้วยไฟฟ้า

อุปกรณ์ชนิดที่ 3 หน่วยการพัลส์ที่ใช้คือ diaphragm (รูปที่ 2.9 (c)) ใช้แทน Valveless plunger pump หรือลูกสูบ กลไกการทำงานใช้การปรับลูกเบี้ยว การเดินเครื่องใช้มอเตอร์หรือลูกสูบสโตรกต่าง ๆ หรือ proportioning pump โดยไม่มี check valve

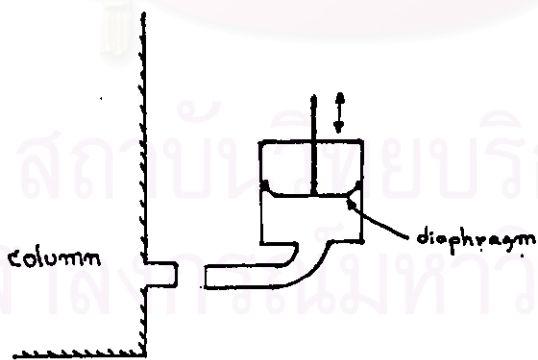
สำหรับสารละลายที่มีการกัดกร่อนหรือแผ่รังสี จะไม่เหมาะสมกับอุปกรณ์การพัลส์ข้างต้น เนื่องจากสารจะต้องสัมผัสโดยตรงกับของเหลว Baird (ค.ศ.1965) และ Cloete (ค.ศ.1968) และ Streat (ค.ศ.1963) มีแนวความคิดใหม่ในการพัลส์โดยการอัดอากาศ ซึ่งสามารถใช้ในคอลัมน์ที่มีขนาดใหญ่ได้ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (d) Cloete และ Streat เกี่ยวกับการเชื่อมต่อกับเส้นทางในการพัลส์ของคอลัมน์ เพื่อที่จะอัดอากาศใน chamber ซึ่งความดันจะแปรเปลี่ยนโดยจะมีการควบคุมโดยใช้ cyclic leakage (การรั่วไหลเป็นรอบ) ด้วยการใช้ลูกเบี้ยวหรือ flapper valve



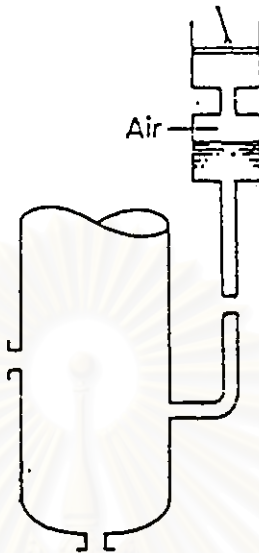
(a) แสดง reciprocating pump ซึ่งมีการปรับแอมพลิจูดของการพัลส์อย่างง่าย แล้วผ่านไปยัง stroke-adjustment ของ pump และปรับความถี่ไปยัง gear box บน driver



(b) โลหะที่มีความยืดหยุ่นหรือ plastic bellow ที่มีการยืดหยุ่น โดยมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาด้วยไฮดรอลิกหรือมีการส่งสัญญาณไฟฟ้า



(c) แสดงหน่วยการพัลส์ที่เป็นแบบ diaphragm



(d) แสดง air pulsing ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่มีการกดและการขยายของอากาศที่อยู่เหนือ diaphragm

รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการผลิตต่าง ๆ

2.11.3 การวัดความถี่และแอมพลิจูด

การวัดความถี่ทำโดยเครื่องมือวัดความเร็วรอบ (Tachometer) วัดการหมุนของ shaft และถูกเบี่ยงที่ต่อกับ valveless plunger pump ดังนั้นความถี่ของการผลิตจึงสามารถหาได้

การวัดแอมพลิจูดทำได้โดย ที่ความถี่ต่ำ ๆ ค่าแอมพลิจูดสามารถวัดได้โดยสังเกตจากความแตกต่างของระยะที่ผิวหน้าของเหลวเคลื่อนที่ขึ้นและลง ซึ่งสามารถวัดจากสเกลที่ติดอยู่กับคอดัมน์ที่เป็นแก้ว ส่วนที่ความถี่สูงมาก ๆ นั้นจะต้องใช้วิธีที่ละเอียดมากในการวัด วิธีที่ใช้ทั่วไปในการทำงานในปัจจุบันกระทำโดยการใช้ความแตกต่างทางการนำไฟฟ้าระหว่าง aqueous phase และเฟสตัวทำละลาย

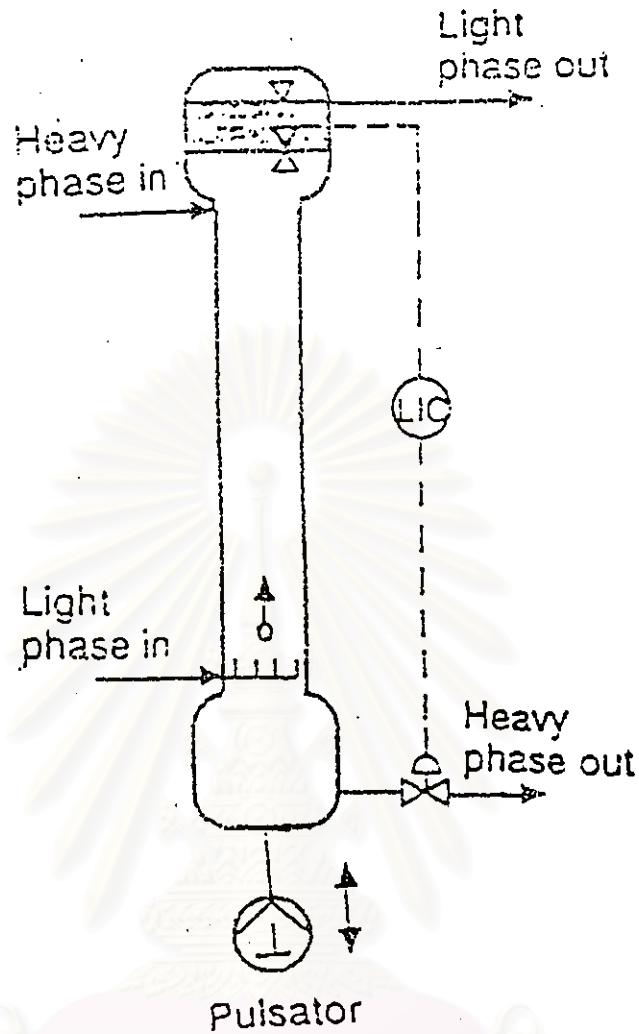
2.11.4 ตัวอย่าง pulsed column บางประเภทที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรม

1. Pulsed spray column

คอลัมน์แบบสเปรย์ เป็นเครื่องสกัดที่มีลักษณะเป็นท่อยาววางแปล่าที่มีของเหลวสองเฟสไหลสวนทางกัน โดยเฟสกระจายถูกฉีดกระจายผ่านของเหลวตัวที่สองซึ่งเรียกว่าเฟสหลัก โดยที่หยดอาจจะไหลผ่านขึ้นหรือไหลผ่านลง แล้วแต่ความหนาแน่นของเฟสกระจายเมื่อเปรียบเทียบกับเฟสหลัก สาเหตุที่นิยมใช้ spray column เพราะว่าสามารถใช้ได้กับของเหลวที่มีความสกปรกและมีการกัดกร่อนซึ่งไหลผ่านด้วยอัตราการไหลสูง นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างที่ง่าย ราคาถูก และมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูงดังนั้นประสิทธิภาพของคอลัมน์แบบสเปรย์ สามารถเพิ่มขึ้นได้หากเพิ่มอัตราการไหลอย่างไรก็ดีมีการทดลองศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทำงานของ pulsed spray column อยู่บ้าง (ดังรูปที่ 2.10) สำหรับการขยายขนาดและการออกแบบ Lurie และ Shaver กล่าวว่าผลการพัลส์มีผลเล็กน้อยต่อประสิทธิภาพการแยกของคอลัมน์แบบสเปรย์ โดยเฉพาะที่ความเร็วพัลส์ต่ำ ๆ O' Brien (ค.ศ.1954) ได้มีรายงานว่าคุณสมบัติจะสูงขึ้นที่ความเร็วพัลส์สูงและยังสังเกตพบว่าการลดลงของความสูงรวมของหน่วยส่งผ่านที่ความเร็วสูงกว่า 200 รอบ/นาที โดยแอมพลิจูดมีค่าเท่ากับ 3/16 นิ้ว

ได้มีการศึกษาในรายละเอียดเกี่ยวกับผลของการพัลส์ต่อประสิทธิภาพของคอลัมน์แบบสเปรย์ โดย Billerbeck et al. (ค.ศ.1956) ศึกษาอัตราการแยกของกรดอะซิติกระหว่างน้ำและ methyl isobutyl ketone โดยศึกษาพัลส์รูปไซน์ขนาดแอมพลิจูดเท่ากับ 7/16 นิ้ว และค่าความถี่เท่ากับ 0 ถึง 500 รอบ/นาที พบว่าการพัลส์ไม่มีผลต่อ holdup ของเฟสกระจายและความสูงของหน่วยส่งผ่านในช่วงความถี่ต่ำกว่า 200 รอบ/นาที ทั้งความถี่และเฟสต่อเนื่องมีผลต่อ hold up ของเฟสกระจายที่ความถี่มากกว่า 200 รอบ/นาที

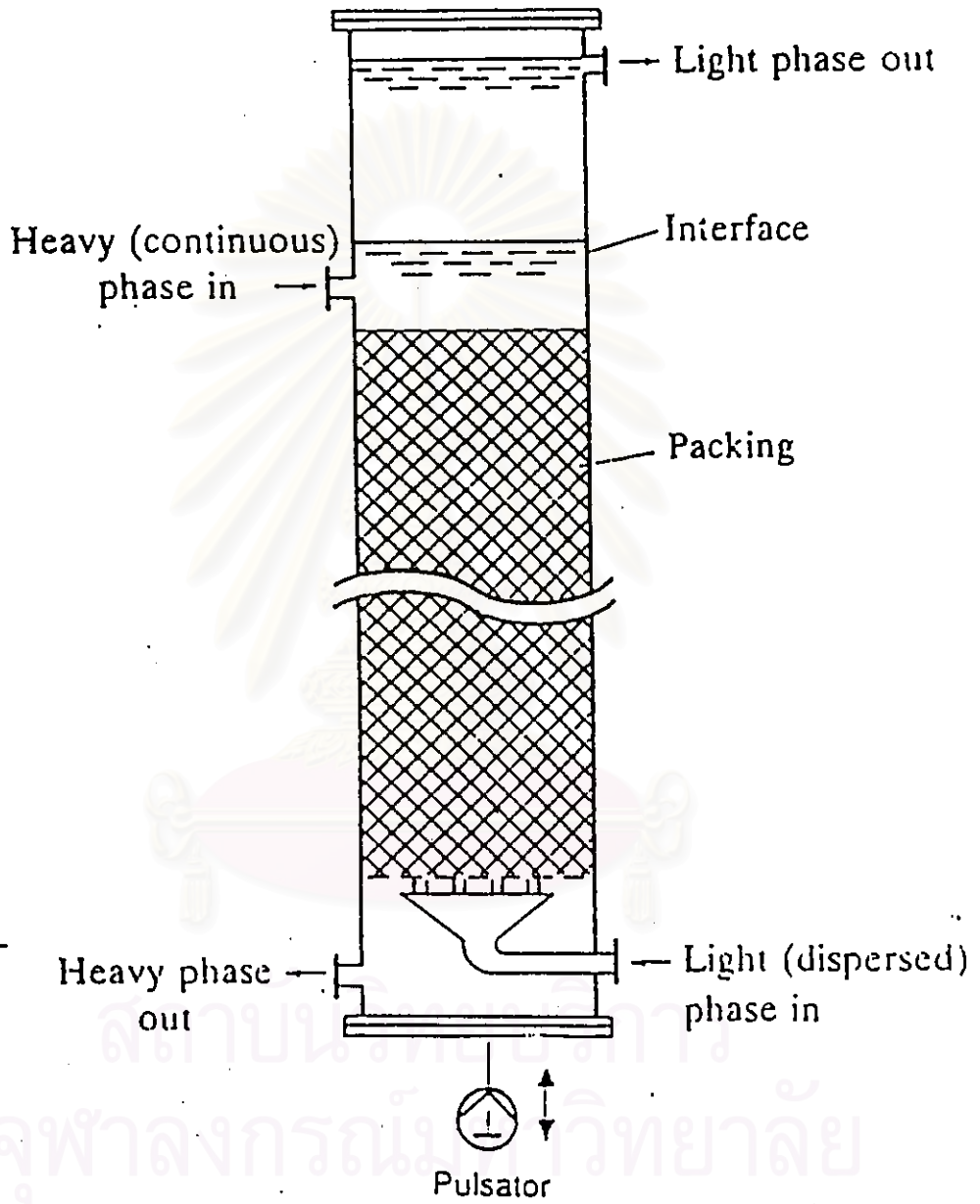
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.10 แสดง pulsed spray column

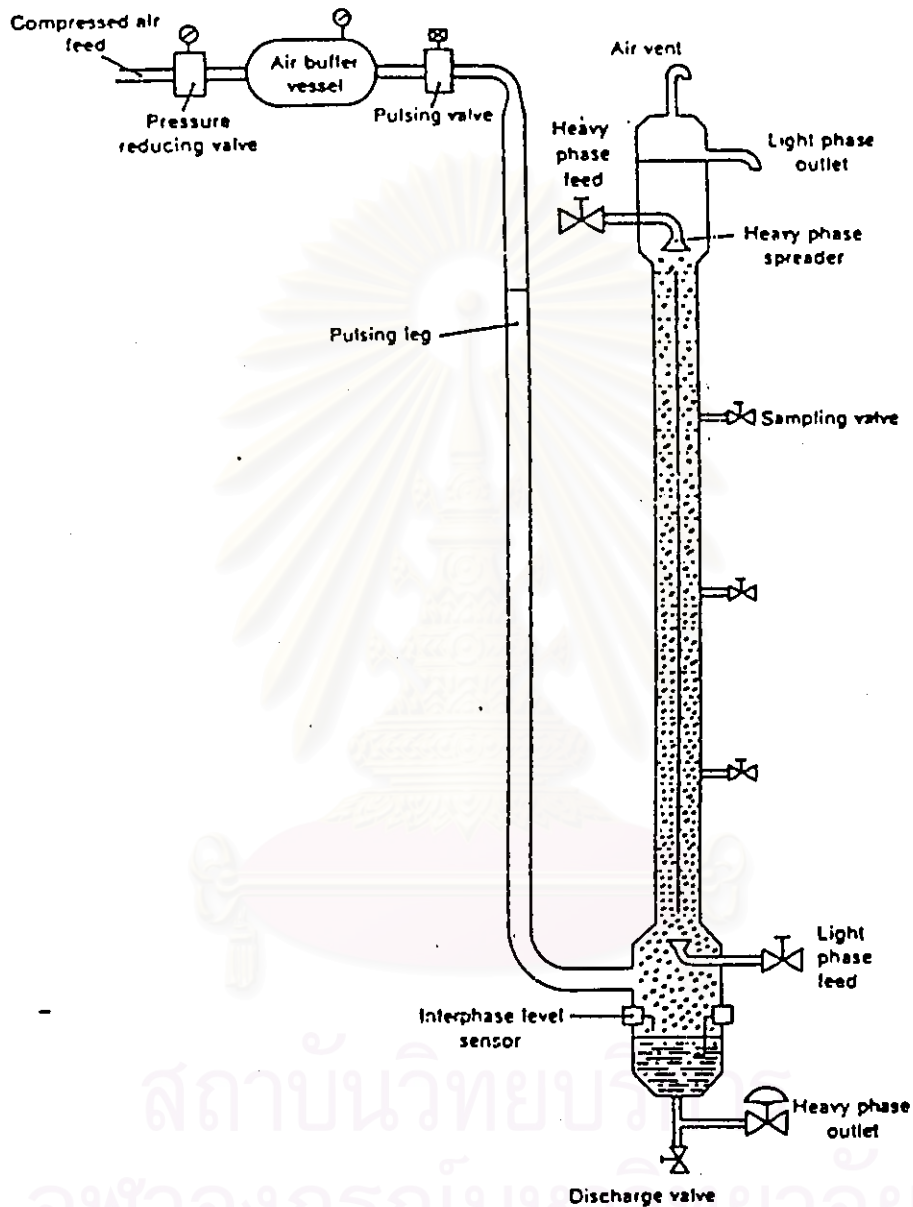
2.11.4.2 Pulsed packed column

เนื่องจากคอลัมน์แบบสเปรย์มีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพของคอลัมน์แบบสเปรย์ สามารถเพิ่มขึ้นโดยการใส่ packing ในคอลัมน์แบบสเปรย์ โดยชนิดของ packing ได้แก่ Poaching rings และ Beard saddles packing และจะเพิ่มการฟลัดเข้าไปใน packed column คอลัมน์ในลักษณะนี้ก็จะเรียกว่า pulsed packed column ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านมวลเนื่องจากการกระจายตัวของแบบที่มีการฟลัดจะดีกว่าแบบที่ไม่มีการฟลัด โดย Thornton (ค.ศ.1954) ได้เสนอว่าแพกกิงที่ทำจากโพลีเอทิลีนมีลักษณะไม่เปียกในสารละลาย aqueous ซึ่งจะมีความจุและอัตราการแลกเปลี่ยนมวลสูงกว่าแพกกิงที่ทำจากเซรามิก การฟลัดจะเป็นการลดขนาดหยดของเฟสกระจาย , เพิ่ม holdup และเพิ่มพื้นที่ระหว่างผิวหน้าสำหรับการแลกเปลี่ยนมวล การฟลัดจะทำให้เกิดอิมัลชันเพิ่มขึ้น ส่วน Throughput สูงสุดลดลงแต่ HETS ลดลงด้วย



รูปที่ 2.11 แสดง pulsed packed column

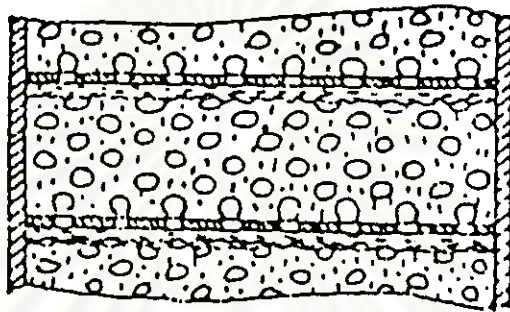
2.11.4.3 pulsed perforated-plate column



รูปที่ 2.12 pulsed perforated - plate column

การพัลส์จะเป็นแบบ coalescence-redispersion recycle (มีการรวมตัวและการกระจายตัวซ้ำไปมา) ในเฟสของของเหลวทั้งสอง การลอยตัวของเฟสกระจายจากเพลทหนึ่งไปอีกเพลทหนึ่ง (รูปที่ 2.12) ซึ่งมีการรวมตัวขึ้นไปเหนือหรือต่ำกว่าของอีกเพลทหนึ่งซึ่งขึ้นอยู่กับว่าของเหลวหนักหรือเบาที่เป็นเฟสกระจาย ชั้นที่ถูกรวมตัวนี้ไม่มีแรงเพียงพอที่จะทำให้ของเหลวผ่านแผ่นรูพรุนได้ เพราะจะมีแรงดึง

ระหว่างผิวหน้า จนกระทั่งจะมีการปลัดขึ้นไปหรือลงมาอีก ซึ่งจะเป็นแรงผลักดันให้เฟสกระจายตัวผ่านแผ่นเจาะรูพรุนขึ้นไปในเพลตต่อไป ดังนั้นจะเห็นว่าสำหรับการทำงานที่มีประสิทธิภาพของ pulsed column เฟสทั้งสองจะไหลจากเฟสหนึ่งไปอีกเฟสหนึ่งโดยจะมีทั้งการกระจายตัวและรวมตัวกัน



รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบการกระจายตัว (เฟสเบาเป็นเฟสกระจาย)

ข้อดีของ pulsed-perforated plate column มีดังนี้

(1) ความสูงของชั้นตอนจะต่ำกว่าแบบ conventional packed towers เนื่องจากการกระจายและการปั่นป่วนจะมีสูง สิ่งนี้ทำให้เกิดประโยชน์สำหรับขบวนการที่มีกัมมันตภาพรังสี ซึ่งทำให้เกิดการประหยัดในด้านราคาของเครื่องป้องกัน

(2) การทำงานมีการยืดหยุ่นดีจะมีลักษณะของ pulse เปลี่ยนแปลงได้หลายรูปแบบ

(3) ใช้กับกระบวนการที่มีความแตกต่างของความหนาแน่นเพียงเล็กน้อย

(4) ทำการขยายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้อย่างง่าย ๆ

ข้อเสียของ pulsed-perforated plate column มีดังนี้

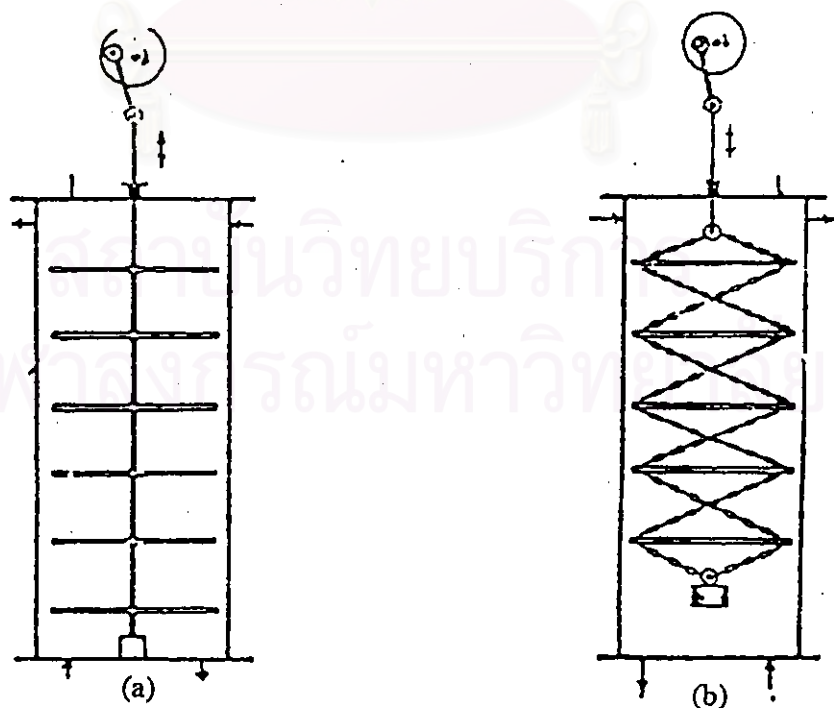
(1) การปลัดเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดอิมัลชัน

(2) มีข้อจำกัดต่อจำนวนชั้นตอนตามทฤษฎี ซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มพลังงานในการปลัด เมื่อเพิ่ม pulse amplitude ทำให้เกิดการผสมย้อนกลับและทำให้ความสูงของชั้นตอนเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามคือ ถ้าความสูงของของเหลวถูก pulsed ที่อัตราเร็วสูงขึ้น ความดันที่หน่วยการปลัดจะน้อยกว่าความดันไฮดรอลิกของ process liquor ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้เกิด cavitation อย่างไรก็ตามผลกระทบนี้จะไม่เกิดกับระบบ air-pulsed

2.11.4.4. คอลัมน์ที่มี Reciprocating sieve-plate

คอลัมน์ที่มี Reciprocating sieve-plate แสดงในรูปที่ 2.14 ระยะห่างของเพลทที่มีการเจาะรูจะห่างเป็นระยะเท่ากันทุก ๆ ระยะ ซึ่งจะมีการวางตามแนวนอนซึ่งจะมีการเคลื่อนที่ขึ้นและลงโดยถูกเบียดด้วย ส่วนบนของคอลัมน์จะทำงานโดยใช้มอเตอร์ เพลทนี้จะอยู่ในตำแหน่งที่ถูกยึดด้วยท่อแกนกลางและกันด้วย spacer (ในกรณีของคอลัมน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย) ดังรูปที่ 2.14 (a) หรืออาจจะมีโซ่ยึดและทำให้ดึงโดยใช้ลูกตุ้มที่อยู่ส่วนล่างของคอลัมน์ (ในกรณีของคอลัมน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่) ดังรูปที่ 2.14 (b) เพลทจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูครั้งนิ้วหรือใหญ่กว่า และเพลทจะมีพื้นที่ประมาณ 60-70% การเคลื่อนที่ของเพลทนั้นจะต้องให้พลังงานการกวอย่างเพียงพอเพื่อทำให้ของเหลวกระจายด้วยณะที่ทั้งสองสัมพันธ์กัน

Karn (ค.ศ.1959) ได้ศึกษาสภาวะการทำงานของ Reciprocating plate contactor ซึ่งจะเห็นว่าจากข้อมูลในห้องปฏิบัติการ สามารถที่จะทำการขยายขนาดเพื่อจะใช้ในอุตสาหกรรมได้อย่างง่ายโดยให้ plate spacing , ความถี่ , แอมพลิจูด , อัตราการไหลของของเหลวและลักษณะการแลกเปลี่ยนมวลในเทอมของ HETS (Height Equivalent of a Theoretical Stage) คงที่ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในหอที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว จะไม่สำคัญ แต่จะขึ้นอยู่กับลักษณะของของเหลวสำหรับระบบที่มีแรงตึงผิวต่ำ จะมีค่าอัตราการไหลต่อพื้นที่ (throughput) สูงถึง 15000 lb/hr.ft² สำหรับระบบที่มีแรงตึงบนผิวหน้าสูงจะมีค่าอัตราการไหลต่อพื้นที่ประมาณ 6500 lb/hr.ft²



รูปที่ 2.14 แสดง Reciprocating Sieve-plate Column

2.11.5 ภาวะการท่วมใน Pulsed Perforated-Plate column ^(11,12,13,14,15,16,17)

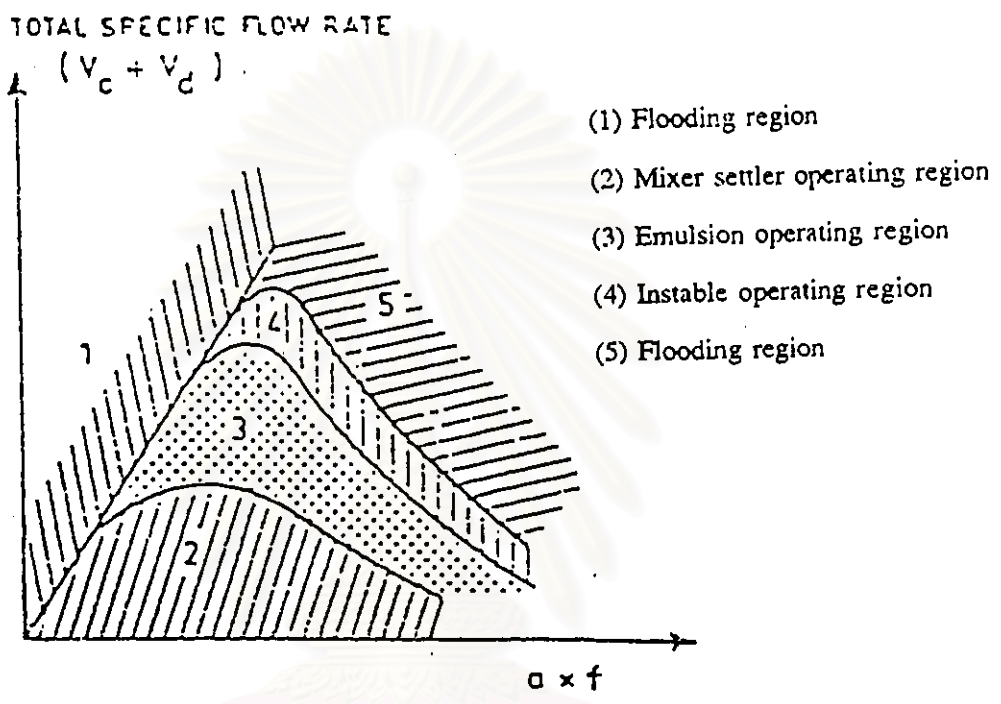
Pulsed columns ในยุคต้น ๆ ใช้ random packings บรรจุอยู่ภายในคอลัมน์ต่อมาถูกแทนที่โดย sieve plates และ regular packings การพัลส์ใช้ valveless plunger pumps หรือ oscillator unit และ transducer ควบคุมการทำงานของลูกสูบ (bellow) หรือ diaphragm แต่มีข้อเสียในกรณีใช้กับของเหลวที่มีการกัดกร่อน เพราะสัมผัสกับของเหลวโดยตรง จึงมีการทำการพัลส์โดยตรงด้วยลมผ่านฐานคอลัมน์ และผ่านไป ตามความยาวของคอลัมน์

Pulsed perforated-plate column มีลักษณะเป็นท่อแก้วยาว ภายในบรรจุด้วย perforated-plates หรือแผ่นที่เจาะรูไว้ ชั้นของเหลวหนักและชั้นของเหลวเบาไหลสวนทางกันของเหลวหนึ่งจะเป็นเฟสกระจาย (dispersed phase) และของเหลวอีกชนิดหนึ่งจะเป็นเฟสต่อเนื่อง (continuous phase)

เฟสกระจายไหลผ่านรูของ perforated-plates กระจายเป็นหยดและไหลผ่านสวนทางกับเฟสต่อเนื่อง มันจะรวมตัวกันอีกครั้งอยู่ข้างใต้หรือข้างบนเพลทจนกระทั่งมีแรงมากพอที่จะไหลผ่านรูของ perforated-plates และกระจายในเฟสต่อเนื่องอีกครั้ง การถ่ายเทตัวถูกละลายก็เกิดขึ้นในขณะนี้ เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทตัวถูกละลายโดยการอัดความดันเป็นระยะ ๆ (pulsing) แผนภูมิการทำงานเป็นไปดังรูปที่ 2.12 ของเหลวที่หนักกว่าจะเข้าด้านบนส่วนของเหลวที่เบากว่าจะเข้าด้านล่างซึ่งจะมีการสัมผัสกันและแลกเปลี่ยนมวลสารซึ่งกันและกัน ของเหลวที่เบากว่าจะออกทางด้านบน ส่วนของเหลวที่หนักกว่าจะออกทางด้านล่าง

การควบคุมการทำงานของคอลัมน์ประเภทนี้จะอาศัยแอมพลิจูดและความถี่โดยแอมพลิจูดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นของสารละลายในคอลัมน์ในการพัลส์แต่ละครั้ง ส่วนความถี่นั้น เป็นความถี่ของการพัลส์ หน่วยเป็นรอบ/นาที การทำงานของคอลัมน์นี้จะแสดงโดย Sege และ Wooldfield diagram ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งผลรวมของอัตราการไหลของเฟสทั้งสองเท่ากับ $V_c + V_d$ ซึ่งเป็น function ของผลคูณของ amplitude (a) และ frequency (f) ของการ pulsing การทำงานในช่วงแตกต่างกัน จะอยู่ในเนื้อที่ diagram ที่ต่างกัน ในทางปฏิบัติจะใช้ emulsion operating area ในการทำงาน ซึ่งให้อัตราการส่งผ่านมวลสารดีที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.15 แสดง droplet pattern ของการทำงานในภาวะต่างๆ

1. Flooding region
2. Mixing settler operating region
3. Emulsion operating region
4. Instable operating region
5. Flooding region

เนื้อที่ “1” คอลัมน์เกิดภาวะการท่วม (flood คือ ของเหลวที่เบากว่าจะถูกดึงออกจากคอลัมน์ โดยของเหลวที่หนักกว่า เมื่อให้อัตราการไหลของเฟสหนึ่งคงที่ไว้ และเพิ่มอัตราการไหลของอีกเฟสขึ้นอย่างสม่ำเสมอ จนเข้าสู่เงื่อนไขที่ flow pattern ของของเหลวที่เบากว่าไม่แน่นอน อัตราการไหลขณะนี้เรียกว่า limiting flow rates หรือ flooding velocities)

เนื้อที่ “2” เกิดการแบ่งแยกชั้นของของเหลวระหว่าง plate อัตราการส่งผ่านมวลสารน้อยมาก

เนื้อที่ “3” การกระจายของหยดเล็กๆ เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การส่งผ่านมวลสารในเนื้อที่นี้ดีที่สุด

เนื้อที่ “4” เกิดการรวมตัวกันให้หยดที่ใหญ่ขึ้น อัตราการสกัดน้อย

เนื้อที่ “5” เกิดการท่วม (flooding)

หมายเหตุ ภาวะการท่วมหรือ flooding คือ limit สูงสุดของคอลัมน์ที่จะรับปริมาณของเหลวทั้งสองเฟส โดยขึ้นกับความเร็วของเฟสทั้งสอง

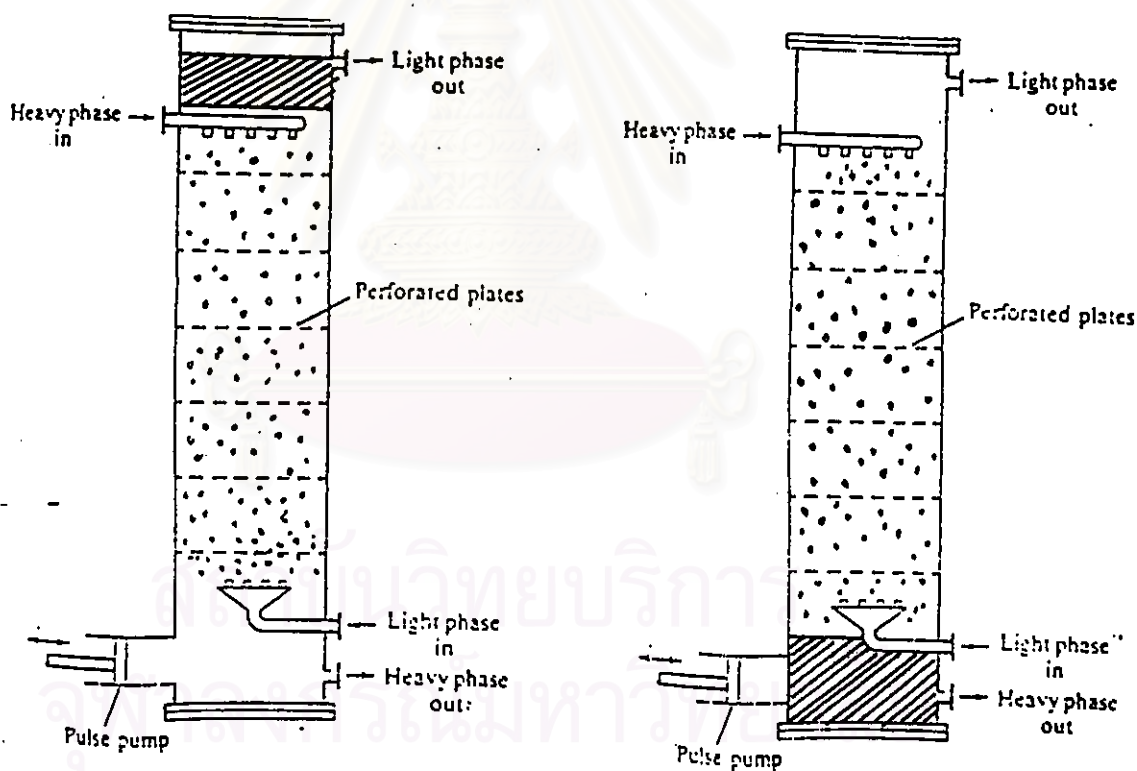
โดยทั่วไปจะใช้ perforations ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง $1/8$ นิ้ว ซึ่งเพียงพอจะให้ free space 20-25% โดยใช้ plate spacing ประมาณ 2 นิ้ว pulse amplitudes อยู่ในช่วง 0.25-1 นิ้ว และความถี่อยู่ในช่วง 100 - 250 รอบ/นาที ถึงแม้ว่าลักษณะการพัดจะขึ้นกับระบบของของเหลวที่ใช้และอัตราการไหล

2.11.6 ลักษณะที่เห็นในคอลัมน์สกัดในการที่จะเกิดภาวะการท่วม

ขบวนการในคอลัมน์สกัดส่วนใหญ่จะทำงานด้วยหลักการการไหลสวนทางกัน โดยทั่วไปสารละลาย (aqueous phase) จะมีความหนาแน่นสูงกว่าตัวทำละลาย (organic phase) ดังนั้นสารละลายจะเข้าที่ส่วนบนของคอลัมน์และตัวทำละลายจะเข้าที่ส่วนล่างของคอลัมน์และให้ aqueous phase เป็นเฟสต่อเนื่อง และตัวทำละลายเป็นเฟสกระจาย หยดของตัวทำละลายขึ้นไปสู่ส่วนบนของคอลัมน์ โดยระยะ interface จะอยู่ส่วนบนของคอลัมน์โดยให้ระยะ interface อยู่ต่ำกว่าทางออกของเฟสกระจายเล็กน้อย Sherwood และ Pigford ได้กล่าวว่าสำหรับสภาวะการท่วมของคอลัมน์ จะเกิดที่อัตราการไหลวิกฤตปรากฏการณ์นี้จะเกิดเมื่อกำหนดสภาวะการทำงาน (แอมพลิจูดและความถี่คงที่) และกำหนดให้อัตราการไหลของเฟสต่อเนื่องคงที่ แล้วมีการเพิ่มอัตราการไหลของเฟสกระจาย เฟสกระจายจะเริ่มตกลงมาเรื่อยๆ ในทิศทางของเฟสต่อเนื่องเมื่อถึงสภาวะที่เกิดการท่วม เฟสกระจายจะตกลงมาแทนที่เฟสต่อเนื่อง การตกลงมาแทนที่เรื่อยๆ นั้น ก็เป็นเพราะว่าอัตราการไหลของเฟสกระจายมากเกินไป

ในทางตรงข้าม ถ้าให้ตัวทำละลายเป็นเฟสต่อเนื่องและ aqueous phase เป็นเฟสกระจาย โดยตัวทำละลายจะป้อนเข้าสู่ส่วนล่างของคอลัมน์ และ aqueous phase เข้าสู่ส่วนบนของคอลัมน์ตามเดิม โดยระยะ interface จะอยู่ส่วนล่างของคอลัมน์แทนดังนั้นเมื่อกำหนดให้สภาวะการทำงานคงที่ (แอมพลิจูด และความถี่) ให้อัตราการไหลของเฟสต่อเนื่องคงที่ และเพิ่มอัตราการไหลของเฟสกระจายอย่างช้าๆ เมื่อดังจุดหนึ่งเฟสกระจายจะเริ่มขึ้นสู่ข้างบนตามทิศของเฟสต่อเนื่อง เมื่อดังสภาวะที่เกิดการท่วม เฟสกระจายจะแทนที่เฟสต่อเนื่อง ซึ่งส่วนบนของคอลัมน์นั้นจะเพิ่มเฟสกระจายขึ้นเรื่อยๆ นั้นเป็นเพราะอัตราการไหลของเฟสกระจายมากเกินไป

ลักษณะของการไหลและระยะ interface ของแบบเฟสเบาในรูปหยดและเฟสหนักในรูปหยด ซึ่งได้แสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.12 แบบแผนการทำงานคอลัมน์แบบ pulsed – perforated plate column



ต้นฉบับไม่มีหน้านี้

NO THIS PAGE IN ORIGINAL

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.12 การเปียกตัว

ผลกระทบของการเปียกตัวของเพลทด้วยของเหลวต่อประสิทธิภาพในการสกัดแยกสาร และภาวะการท่วมของคอลัมน์นั้นได้เคยมีผู้ทำการทดลองไว้คือ Garner และ Murali และ Raja Rao ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของคอลัมน์จะเพิ่มขึ้นถ้าเพลทเปียกตัวด้วยเฟสต่อเนื่อง ซึ่งในกรณีนี้เฟสกระจายจะแตกเป็นหยดเล็กๆ ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสองเฟสมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าเพลทเปียกตัวด้วยเฟสกระจาย จะไม่เกิดเป็นหยดเล็กๆ ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลว 2 เฟสจึงน้อย ประสิทธิภาพของคอลัมน์จึงต่ำลง

พฤติกรรมของการเปียกตัวของเพลทด้วยของเหลวนั้นจะทราบได้จากลักษณะของหยดของเหลวบนเพลท ในกรณีที่เพลทเปียกตัวด้วยของเหลวได้ดีพบว่าลักษณะหยดของเหลวจะมีมุมสัมผัส (Contact angle) ต่ำ ถ้ามุมสัมผัสมากกว่า 90° ของเหลวจะเปียกบนเพลทได้น้อยลง และถ้ามุมสัมผัสมีค่าประมาณ 150° ของเหลวจะไม่เปียกตัวบนเพลท

พฤติกรรมของการเปียกตัวของของแข็งด้วยของเหลวสามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะคือ

1. พฤติกรรมการเปียกตัวได้ดีของของแข็งด้วยน้ำเรียกว่า Hydrophilic
2. พฤติกรรมการเปียกตัวได้ดีของของแข็งด้วยน้ำมันเรียกว่า Hydrophobic

สำหรับในรายงานวิจัยฉบับนี้จะทำการศึกษากการเปียกตัวของเพลทที่ทำจากวัสดุ 2 ชนิดคือ เทฟลอน และ เหล็ก ไร้สนิมเบอร์ 304 เทฟลอนนั้นจะมีคุณสมบัติเป็นแบบ Hydrophobic ซึ่งเปียกตัวได้ดีด้วยน้ำมันแต่จะเปียกตัวไม่ดีด้วยน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 และ รูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 การเปียกตัวของน้ำบนเพลทเทฟลอน



รูปที่ 2.17 การเปียกตัวของน้ำมันบนเพททเฟลตอน

ลักษณะของหยดน้ำที่เกาะตัวอยู่บนเพททเฟลตอนนั้นจะมีมุมสัมผัสสูงกว่า 90° ซึ่งชี้ให้เห็นว่า เพททเฟลตอนเปียกตัวไม่ดีด้วยน้ำ ส่วนลักษณะของหยดน้ำมันที่เกาะตัวอยู่บนเพททเฟลตอนจะมีมุมสัมผัสต่ำมาก (น้อยกว่า 90°) เพททเฟลตอนจึงสามารถเปียกตัวได้ดีน้ำมัน ส่วนเพททที่ทำจากเหล็กไธสนิมจะมีคุณสมบัติเป็นแบบ Hydrophilic ซึ่งเปียกตัวได้ดีด้วยน้ำแต่เปียกตัวได้ไม่ดีด้วยน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 2.18 และ รูปที่ 2.19



รูปที่ 2.18 การเปียกตัวของน้ำมันบนเพททเหล็กไธสนิมเบอร์ 304



รูปที่ 2.19 การเปิดตัวของน้ำมันบนเพลาเหล็กไร้สนิมเบอร์ 304

จากรูปที่ 2.19 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของหยดน้ำที่เปียกได้บนเพลาเหล็กไร้สนิม มุมสัมผัสของหยดน้ำจะมีค่าน้อยกว่า 90° ส่วนรูปที่ 2.19 แสดงให้เห็นลักษณะของหยดน้ำมันที่เปียกคิ้วบนเพลาเหล็กไร้สนิม ซึ่งมุมสัมผัสจะมีค่ามากกว่า 90° เพลาเหล็กไร้สนิมจึงมีคุณสมบัติเปียกตัวไม่ดีด้วยน้ำมัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.13 การเลือกตัวทำละลาย

การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุด เป็นปัญหายุ่งยากอย่างหนึ่งของการสกัดและจะมีอิทธิพลทางเศรษฐศาสตร์ของขบวนการมาเกี่ยวข้อง

ตัวทำละลายจะต้องมีคุณสมบัติพื้นฐาน คือ ต้องมีความสามารถที่จะละลายตัวถูกละลายได้ดีในสารละลาย การเลือกตัวทำละลายขึ้นอยู่กับเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- selectivity α_{ab} คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การกระจายขององค์ประกอบ a เมื่อเทียบกับตัวทำละลายและสารที่ป้อนเข้าต่อสัมประสิทธิ์การกระจายขององค์ประกอบ b เมื่อเทียบกับตัวทำละลายและสารที่ป้อนเข้า

โดยในขบวนการสกัดนั้นค่า $\alpha_{ab} > 1$

a คือ ตัวถูกละลายที่จะถูกแยกออกจากสารป้อนเข้า

b คือ สารที่เหลือใน raffinate

สารละลายที่ป้อนเข้าต่ำ เพื่อลดปริมาตรของตัวทำละลายที่จะออกกับ raffinate ให้น้อยและตัวทำละลายจะนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อประหยัดทางเศรษฐกิจ

- มีความหนาแน่นที่ต่างกันพอสมควรกับสารละลายที่ป้อน ในการสกัดของเหลวจะผสมของเหลว 2 เฟส เข้าด้วยกันโดยอาศัยความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของแต่ละเฟส เป็นแรงทำให้เกิดการผสมระหว่างเฟสทั้งสอง

- มีแรงตึงระหว่างผิวหน้า (interfacial tension) พอสมควร ค่าแรงตึงระหว่างผิวหน้ามีค่าต่ำเพื่อต้องการพลังงานน้อยในการแยกสารให้กระจายออกไป อย่างไรก็ตาม ค่าที่ต่ำมากๆ จะมีค่าน้อยกว่า 1 dyne/cm ในทางกลับกันค่าแรงตึงระหว่างผิวหน้ามีค่าสูง จะมีค่าประมาณ 50 dyne/cm

- มีความหนืดต่ำ ส่วนใหญ่ค่าที่ใช้โดยทั่วไปในระบบการสกัดเกี่ยวกับความหนืดจะมีค่าน้อยลงกว่า 10 cp ในการเลือกตัวทำละลายควรเลือกตัวทำละลายที่มีความหนืดต่ำๆ เท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้ง่ายต่อการถ่ายเทมวลสารและแยกเฟส แต่ไม่ต้องคำนึงถึงมากนักเพราะมีอิทธิพลน้อยมาก

- มีการกัดกร่อนต่ำ การกัดกร่อนของสารละลายป้อนเข้า จะถูกกำหนดโดยขบวนการถึงแม้ว่าอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าไปโดยการปรับสภาวะการทำงานทั้งอุณหภูมิและ pH สิ่งที่ยังกระทำคือต้องเลือกตัวทำละลายที่กัดกร่อนน้อยกว่าสารละลายป้อนเข้า

- มีการติดไฟต่ำและมีความเป็นพิษน้อย ถ้าไม่สามารถหลีกเลี่ยงตัวละลายที่มีการติดไฟได้ การเลือกเครื่องมือและสภาวะการทำงานควรพิจารณาเป็นพิเศษเพื่อลดปริมาณตัวทำละลาย และถ้าตัวทำละลายมีความเป็นพิษมาก จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงการแยกออกหลังออกจาก ขบวนการ

- ราคาต่ำและหาได้ง่าย ในทางอุตสาหกรรมตัวทำละลายต้องมีราคาต่ำ และหาได้ง่ายจึงจะเหมาะสมกับการผลิต

- **Thermal stability** ของตัวทำละลายมีความสำคัญมากจะต้องมีค่าสูง จึงต้องพิจารณาค่า **Thermal stability** ของตัวทำละลายเป็นพิเศษ

ส่วนสัมประสิทธิ์การกระจาย คืออัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของตัวละลายใน extract phase กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายใน raffinate phase โดยค่าสัมประสิทธิ์การกระจายจะมีค่าน้อยกว่า 1 การที่จะแสดงว่าตัวทำละลายมีประสิทธิภาพจะต้องละลายตัวถูกละลายในเฟสของสารละลายได้มากๆ โดยค่า **selectivity** นั้นยังมีค่าสูงมากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการสกัดมากขึ้นด้วย โดยต้องเลือกตัวละลายที่ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของสารที่จะถูกสกัดมีค่าสูง ขณะที่สัมประสิทธิ์การกระจายของสารที่เหลือมีค่าต่ำ ซึ่งการที่ตัวทำละลายมีค่าในลักษณะนี้นั้นก็คือจะมีค่า **selectivity** สูงเช่น ในการสกัดกรดอะซิติกจากน้ำ ซึ่งตัวทำละลายจะต้องสกัดกรดได้มากแต่ สกัดน้ำได้เล็กน้อย

- **capacity** คือค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของตัวถูกละลายระหว่างเฟสของตัวทำละลายและเฟสของสารละลาย และสามารถหาปริมาณตัวทำละลายที่น่ากลับมาใช้ใหม่ได้ เมื่อทำการทดสอบการสกัดของตัวทำละลายต่างๆ จะพบว่าสารละลายที่มีค่า **selectivity** สูงกว่า จะมีค่า **capacity** ต่ำกว่า และถ้าในขบวนการมี **throughput** สูง ค่า **capacity** ของตัวทำละลายก็ยิ่งมีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมทั้งด้านค่าทางเศรษฐกิจ (ต้นทุน)

- จุดเดือดของตัวทำละลาย ต้องการตัวทำละลายที่มีจุดเดือดที่เหมาะสม และจะต้องมีจุดเดือดที่แตกต่างกับจุดเดือดของตัวถูกละลายพอสมควร เพราะถ้าเมื่อแยก extract phase ออกมาแล้ว จะต้องนำ extract phase นำมาแยกเอาตัวทำละลายและตัวถูกละลายเพื่อนำตัวทำละลายกลับไปใช้ใหม่ซึ่งวิธีการแยกตัวทำละลายและตัวถูกละลายในอุตสาหกรรมนั้นจะทำโดยการกลั่น

- ง่ายต่อการนำกลับไปใช้ใหม่ สิ่งนี้มีความสำคัญเท่าๆ กับค่า **selectivity** เพราะในทุกระบบการสกัดตัวทำละลายจะต้องนำมาแยกออกจากตัวถูกละลาย

แล้วนำตัวทำละลายกลับไปใช้ใหม่เพื่อความประหยัด

- มีความสามารถในการผสมกันได้ดีกับสารละลายที่ป้อนเข้า เมื่อต้องการค่า selectivity สูง เพื่อที่จะให้สารที่ไม่ต้องการในสารละลายป้อนมีการผสมเข้าไปในตัวทำละลายน้อยที่สุด ดังนั้นต้องทำการหาตัวทำละลายที่มีการผสมเข้ากัน

2.14 ทฤษฎีการแยกสาร (Theory of Separatory Process)

ในกระบวนการสกัดแยกสารซึ่งเป็นตัวถูกละลายสามารถกระจายตัวได้ ในตัวทำละลายสองตัวที่ไม่สามารถละลายซึ่งกันและกัน (Immiscible) หรือละลายได้น้อยมาก ในที่นี้ตัวทำละลายคือน้ำ (Aqueous phase) และสารอินทรีย์ (Organic phase) ซึ่งในกระบวนการสกัดสาร ตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์จะทำหน้าที่ในการสกัดสาร (Extractant) จากอีกเฟสหนึ่งคือ เฟสน้ำ

ค่าการกระจายตัวของสาร A ในตัวทำละลายสองตัวที่ไม่สามารถละลายซึ่งกันและกัน เรียกค่านี้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (Distribution Coefficient or partition coefficient K)

$$K_d = \frac{\text{concentration of A in the organic phase}}{\text{Concentration of A in the aqueous phase}}$$

Concentration of A in the aqueous phase

ค่านี้จะแสดงถึงความสามารถในการสกัดสารของตัวสกัด (Extractant) จากอีกเฟสหนึ่ง ซึ่งค่า K ที่สูงแสดงถึงความสามารถในการสกัดสารของตัวสกัดได้ดี

ในกรณีที่ต้องการสกัดแยกสาร 2 ชนิดออกจากกัน ค่าที่แสดงถึงความสามารถในการสกัดแยกสารทั้ง 2 ออกจากกัน คือ ค่า separation factor α

$$\text{The separation factor } \alpha = \frac{\text{The distribution Coefficient of A}}{\text{The distribution Coefficient of B}}$$

The distribution Coefficient of B

โดยปกติในกระบวนการสกัดแยกสารทั้งสองออกจากกันนั้นค่า α จะต้องมีค่าสูง กว่า 1.5 ขึ้นไป จึงสามารถทำการสกัดแยกสารนั้นได้ หรือเป็นค่าที่แสดงถึงความยากหรือง่ายในการสกัดแยกสารออกจากกัน

ในการสกัดแยกสารแรร์เอิร์ทด้วยวิธี liquid-liquid extraction นั้น ตัวที่ทำหน้าที่เป็นตัวสกัดที่นิยมใช้กันมี 4 อย่าง คือ 1) TBP (Tributyl phosphate 2) quaternary ammonium compound 3) tertiary carboxylic acid (versatic acid) ; และ 4) D2EHPA (di-2-ethylhexyl phosphoric acid) ตัวสกัด 1 และ 2 จะสกัดแรร์เอิร์ทในรูปแบบในเตรคจากสารละลายในน้ำ (aqueous) ส่วน 3 , 4 จะเกิดเป็น compound กับแรร์เอิร์ท ซึ่งทั้งหมดจะเกิดการสกัดจาก aqueous phase ไปยัง organic phase

ได้มีการศึกษาตัวสกัด (extractant) ทั่วไปที่ใช้ในการสกัดแยกแรรี่เอิร์ท Helgar sky และ Levegue Z (2) แบ่งตัวสกัดออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

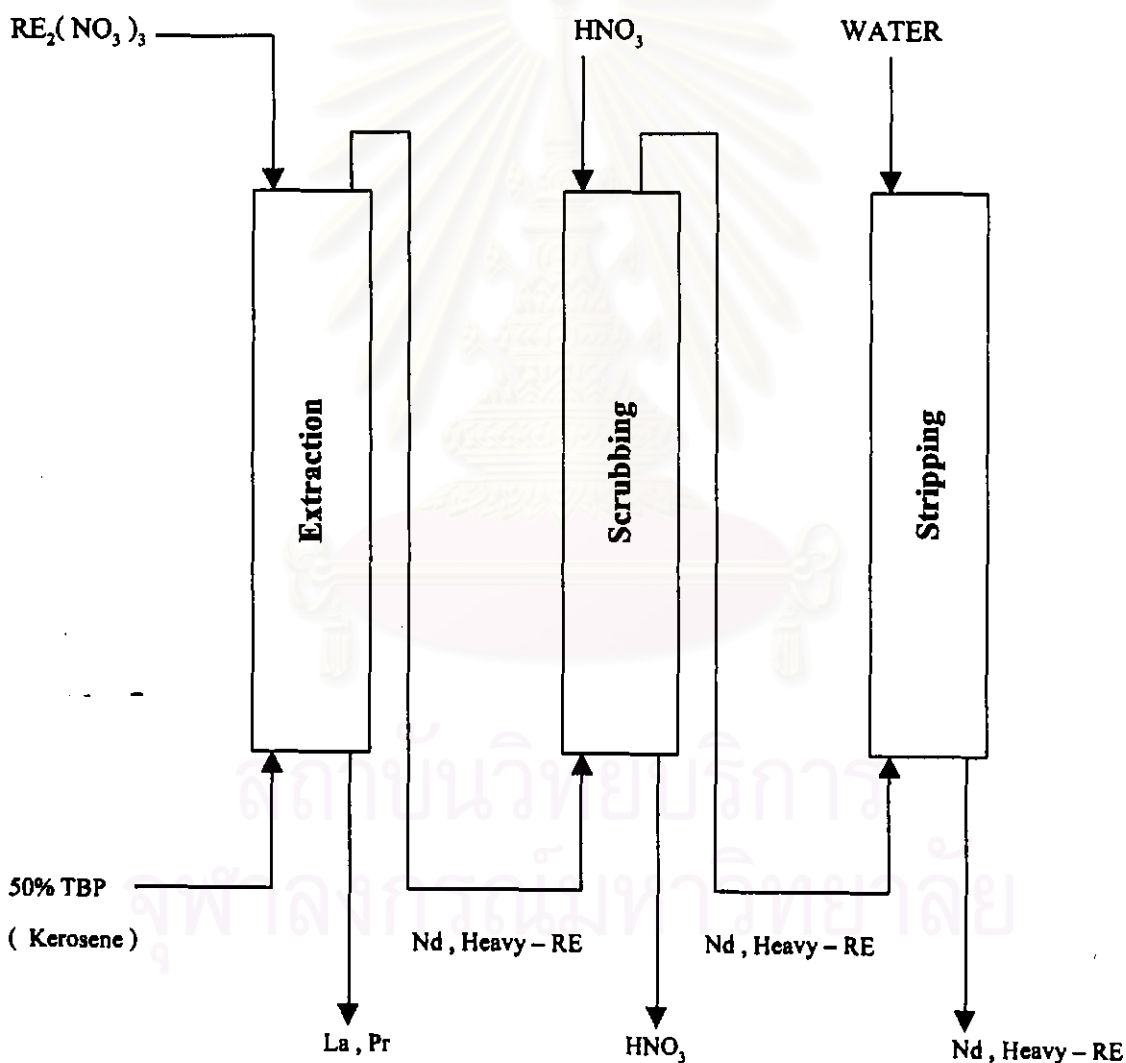
1. ตัวสกัดที่เป็นกรด (acid extractant) เช่น tertiary carboxylic acid , Dinonly naphthalene sulfonic (DNNS) , D2EHPA
2. ตัวสกัดที่เป็นด่าง (basic extractant) เช่น พวก amine , quaternary ammonium compound
3. ตัวสกัดที่เป็นกลาง (neutral extractant) เช่น tributyl phosphate (TBP) ซึ่งมีความเหมาะสมและลักษณะการใช้งานที่แตกต่างออกไป

สำหรับในขบวนการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทออกเป็นกลุ่มนั้นจะใช้ตัวสกัดคือ tributyl phosphat (TBP) เจือจางในน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 50 : 50 โดยปริมาตร และเครื่องมือที่ใช้ในการสกัดแยก คือ pulsed perforated - plate column

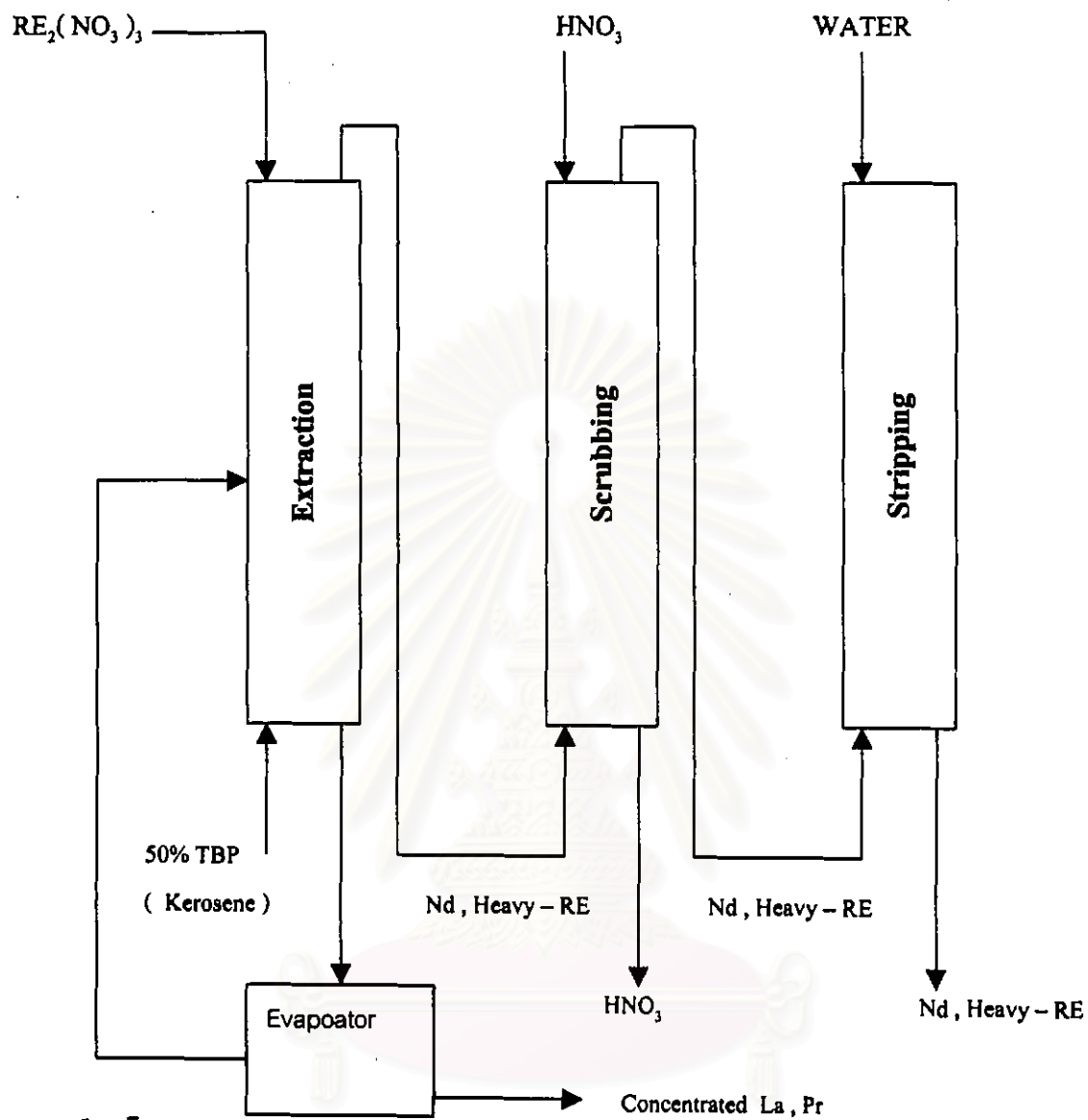
ขบวนการผลิตปัจจุบัน แบ่งการทำงานเป็น 3 ขั้นตอน

1. ขั้นตอนการสกัด (Extraction Section) โดยการป้อนแรรี่เอิร์ทในเตรต $RE_2(NO_3)_3$ ในรูปสารละลาย aqueous ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ในการสกัดเข้าด้านบนของคอลัมน์ และ ตัวสกัดคือ 50% TBP ป้อนด้านล่างของคอลัมน์จะไหลสวนทางกัน จะได้ raffinated ออกทางตอนล่างของคอลัมน์ ซึ่งก็คือ แรรี่เอิร์ทกลุ่มเบา ($La_2(NO_3)_3$ และ $Pr_2(NO_3)_3$) และ ส่วน extracted คือ แรรี่เอิร์ทกลุ่มหนักรวมถึง $Nd_2(NO_3)_3$ ด้วย ในส่วนของ extracted ที่ได้จะผ่านขั้นตอนต่อไป
2. ขั้นตอนการล้าง (Scrubbing Section) เป็นการนำ extracted มาทำการล้างด้วยกรดไนตริก (HNO_3) ซึ่งล้างสารอื่นออกไป โดยการป้อน extracted ที่ได้จากขั้นตอนแรกเข้าด้านล่างของคอลัมน์ที่ 2 และ กรดไนตริกป้อนเข้าด้านบนของคอลัมน์ ให้สารไหลสวนทางกันในคอลัมน์ส่วนของ extracted ที่ถูกล้างแล้วจะไหลออกทางด้านล่างของคอลัมน์ เพื่อเข้าขั้นตอนต่อไป
3. ขั้นตอนการสกัดกลับ (Stripping Section) เป็นการนำ extracted ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาเพื่อดึงสารจากใน 50% TBP (organic phase) กลับเข้าไปในน้ำ (aqueous phase) สำหรับนำไปสกัดแยกสารต่อไป โดยการป้อน extracted ที่ได้จากคอลัมน์ที่ 2 เข้าด้านล่างของ คอลัมน์ที่ 3 และ ป้อนน้ำเข้าด้านบนของคอลัมน์ ก็จะได้ $Nd_2(NO_3)_3$ และแรรี่เอิร์ทกลุ่มหนักละลายในน้ำ (aqueous phase) ดังรูปที่ 2.20

จากที่ได้มีการศึกษาและทำการทดลอง พบว่าจากเทคนิคที่ได้กล่าวข้างต้นนี้ จะได้ผลการ สกัดแยกที่ไม่ดีเพียงพอ คือ ความบริสุทธิ์ของสารที่สกัดแยกได้ต่ำกว่า 70% จึงนำขั้นตอนการป้อนสารเวียนรอบ (reflux) เข้ามาใช้ในการสกัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดจากการนำเทคนิคการป้อนสารเวียนรอบ (reflux) เข้ามาเพิ่มเติมในการสกัดก็จะได้แปลนของกระบวนการสกัดใหม่ดังรูปที่ 2.21 และจะมีส่วนที่เพิ่มเติมจากเดิมคือ มีการติดตั้งเครื่องระเหย (Evaporator) จำนวน 1 เครื่อง เพื่อจะเพิ่มความเข้มข้นของ raffinate แล้วจึงนำไปป้อนสารเวียนรอบ



รูปที่ 2.20 แสดงกระบวนการผลิตที่ไม่มีสารป้อนสารเวียนรอบ



รูปที่ 2.21 แสดงกระบวนการผลิตที่มีการป้อนสารเวียนรอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย