

공정장치간 상호관계도 기반 전해환원공정 자동화 레이아웃 구성 및 평가

한중희*, 김도연, 류동석, 이종광

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*jhan@kaeri.re.kr

1. 서론

파이로 공정의 실용시설인 KAPF는 연간 약 30 tHM의 처리 용량을 목표로 설계 연구가 진행되고 있으며, 이 처리량을 달성하기 위해 개별 장치들의 용량을 증대시키거나, 복수의 동일한 공정장치를 설치하는 것에 대해 고려되고 있다. 이와 동시에 규모가 커진 복수의 공정장치의 체계적인 운전 및 안정적인 성능을 유지하기 위해 공정 운전의 자동화가 연구되고 있다.

공정 자동화와 관련하여 본 논문에서는 KAPF 핫셀에 설치되는 공정장치의 레이아웃을 구성하고, 구성된 레이아웃에 대해 평가하는 방법에 대해 기술한다. PRIDE 아르곤셀에서는 MSM이나 크레인 같이 수동 방식의 원격시스템이 주 운전 수단으로 사용되므로, 공정장치 배치는 MSM의 작업 영역과 이를 운전하는 운전자의 시야 확보가 가장 우선적으로 고려된다. 그 결과 MSM이 설치된 작업장과 근접하여 평행하게 공정 순서에 따라 일렬로 배치된다. 반면 KAPF 핫셀에서의 공정 운전은 자동화된 원격시스템이 주 운전 수단으로 고려되고 있으며, 동일한 공정장치가 복수로 설치되므로 기존의 배치 방법과는 다른 방식이 적용되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 장치 간에 이송되는 물질을 고려한 상호관계도(relationship)를 통해 근접도(closeness value)가 높은 장치들이 인접하도록 배치된 레이아웃 후보군을 도출하고 이들을 평가하는 방법을 전해환원공정에 적용한 결과를 제시한다.

2. 전해환원공정의 상호관계도 분석

2.1 전해환원공정 자동화 예비개념

전해환원공정에서는 사용후핵연료 산화물이 음극 바스켓에 담겨 전해환원장치(OR)를 통해 금속전환체로 환원되며, 이는 다시 증류도가니에 담겨 음극 처리장치(CP)로 이송되고, 금속전환체에 남아있는 잔류염은 증류를 통해 제거된다.

주요 공정장치 이외에 환원 공정 운전 자동화를 지원하기 위해서는 음극바스켓에 원료를 장입하기 위한 물질 공급장치(SU), 음극바스켓에서 금속전환

체를 증류도가니로 옮기기 위한 음극바스켓 분리장치(SP), 최종 공정 생성물 회수장치(CO), 공정에 필요한 유틸리티 거치대(OR/CP-거치) 등이 필요하다.

2.2 전해환원공정의 장치간 상호관계도

자동화 공정에서는 위에 나열한 장치들 간에 공정 물질이 특정 용기에 담겨 공정 절차에 따라 이송되므로 장치간의 연관도는 전달되는 물질의 흐름(material flow), 즉 물질의 양과 횟수의 곱으로 장치 간의 연관도를 정의할 수 있다.

한편 전해환원공정은 주요 공정물질로 사용후핵연료 산화물 및 금속전환체, LiCl, Li₂O 등이 사용되며, 음극바스켓과 증류도가니, 증류염 회수용기 등이 주로 사용되는 공정용기이다. 전해환원공정의 장치 *i*와 *j*간의 상호관계도(f_{ij})는 다음과 같이 정의한다.

$$f_{ij} = (\text{장치 } i \text{의 수}) \times (\text{장치당 용기 수량}) \times (\text{물질무게} + \text{용기무게}) \times (\text{가중치}) \quad (1)$$

위 식에서 가중치는 이송되는 용기 내의 물질에 따라 핵물질 관리대상 물질여부, 공정 기여도, 빈도 등에 의해 결정되는 값으로 Table 1과 같이 정의되었으며, 같은 무게라 하더라도 이송물질이 공정에 중요한 핵물질인 경우, 두 장치는 높은 관계도 값을 갖게 된다.

Table 1. Weight factor of relationship

Factor 1. 핵물질 관리대상여부			Factor 2. 공정 기여도			Factor 3. 빈도		
기준	공정용기	가중치	기준	공정용기	가중치	기준	공정용기	가중치
O	CB, DB, PS, US	10	상	CB, DB, DS, FS, PS, US	10	상	CB, DB, DS, PS	3
X	나머지	1	중	UT	5	중	FS	2
			하	LS, SS, WS	1	하	US, UT, LS, SS, WS	1

3. 전해환원공정의 자동화 레이아웃 구성 및 평가

3.1 블록레이아웃 구성

앞 장에서 정의된 상호관계도와 전해환원공정의 운전 절차를 바탕으로 Table 2와 같이 From-To chart를 작성할 수 있다. Table에서 값이 0인 경우는 두 장치 사이에 물질흐름이 없는 것을 뜻하므로 장치간 연관도가 낮다고 할 수 있다. 반대로 값이

클수록 두 장치가 밀접하게 연관되었다고 할 수 있으므로, 두 장치가 인접되도록 배치하는 것이 공정 운전 측면에서 유리하다고 할 수 있다.

Table 2. From-To chart

	SU	OR	CP	SP	RE	TL	OR-거리	CP-거리	RD	CO	A	E	I	O	U	TCR
SU		40200	80200	80400	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	181000
OR	0		0	0	80000	0	0	0	0	0	800	0	0	0	0	130600
CP	0	0		0	55156228	0	0	0	0	0	800	0	0	0	0	3579433
SP	0	0	0		55156228	0	0	0	0	0	800	0	0	0	0	3579433
RE	0	0	0	0		0	0	0	0	0	800	0	0	0	0	1207068
TL	0	0	0	0	0		0	0	0	0	800	0	0	0	0	1207068
OR-거리	0	0	0	0	0	0		0	0	0	100	0	0	0	0	20640
CP-거리	0	0	0	0	0	0	0		0	0	100	0	0	0	0	187080
RD	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	118056
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	10847
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	200
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	1338181
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0

Table 2의 From-To chart로부터 상호관계도가 높은 장치들을 인접하게 배치하기 위해 CORELAP (computerized relationship layout planning) 방법을 적용하였다 [1]. 이 방법은 상호관계도 값의 크기에 따라 A, E, I, O, U, X의 6단계로 재분류하고 단계별로 근접도를 부여하여 장치별로 통합근접도(total closeness rating, TCR)를 Table 3과 같이 계산한다. TCR은 특정 장치가 다른 장치들과 얼마나 연관이 높은지를 알려주는 값으로 CORELAP을 활용한 레이아웃의 구성은 TCR이 가장 높은 장치 블록을 중앙에 배치함으로써 시작된다.

Table 3. Total closeness rating

	SU	OR	CP	SP	RE	TL	OR-거리	CP-거리	RD	CO	A	E	I	O	U	TCR
SU		A	U	U	U	O	U	U	U	U	1	0	0	1	7	10010
OR	U		A	U	U	U	U	U	U	U	1	0	1	0	7	10100
CP	I	U		A	U	U	U	U	U	U	1	0	1	0	7	10100
SP	U	U	U		E	U	U	U	U	U	0	1	1	1	6	1110
RE	U	U	U	U		E	U	U	U	U	0	1	0	1	7	1100
TL	E	U	U	U	U		O	0	0	0	0	1	0	2	6	1200
OR-거리	U	1	U	U	U	U		U	U	U	0	0	0	1	0	100
CP-거리	U	U	U	U	U	U	U		U	U	0	0	0	1	0	10
RD	U	U	U	U	U	U	U	U		U	0	0	0	1	0	100
CO	U	U	U	U	U	U	U	U	U		0	0	0	3	6	30

두 번째 장치부터는 정해진 규칙에 따라 순서대로 배치되게 되며 공정 내의 모든 장치가 배치되면 Fig. 1과 같이 블록레이아웃을 구성할 수 있다.

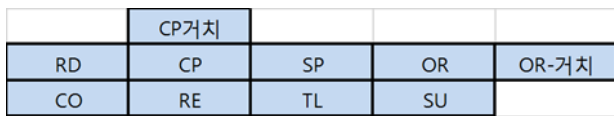


Fig. 1. Block layout.

3.2 전해환원공정의 자동화 레이아웃 구성

Fig. 1의 블록레이아웃을 통해서는 장치들의 상대적인 위치만 결정되어 있는 상태이며, 위의 블록레이아웃에 장치의 크기나 수량, 핫셀의 형태나 크기 등의 제약 조건들을 반영하면 장치들의 레이아웃을 구성할 수 있다.

본 논문에서는 장치의 크기 및 수량에 대해서만 우선적으로 고려하였으며, 복수의 장치인 경우 동

일한 블록레이아웃에 대해 장치의 배열 형태 등에 따라 Fig. 2와 같이 다른 형태의 레이아웃을 얻을 수 있다.

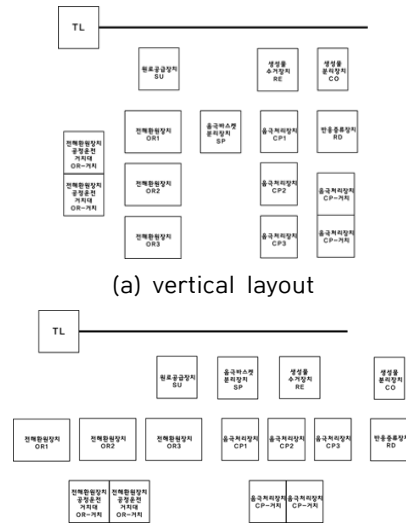


Fig. 2. Initial layout.

3.3 전해환원공정의 자동화 레이아웃 평가

공정장치의 레이아웃을 구성하기 위해서는 여러 가지 변수들이 고려될 수 있으므로, 다양한 레이아웃 후보군들이 작성될 수 있다. 이들로부터 가장 효율적인 레이아웃을 선택하기 위해 가중 이송 비용에 기반한 평가 방법을 제안한다. 가중 이송 비용은 상호관계도와 장치간 거리를 곱한 값으로 정의되며, 가장 낮은 비용을 갖는 레이아웃이 최적의 레이아웃이라고 할 수 있다. Fig. 2의 배치에서는 (b)가 더 나은 레이아웃으로 평가되었다.

4. 결론

본 논문에서는 전해환원공정 운전자동화를 위해 장치 간의 상호관계도를 기반으로 레이아웃을 구성하고 평가하는 방법을 제시하였다. 제시된 방법은 전해회수공정 등으로 확장될 수 있으며 실제 레이아웃 구성 및 이송 자동화 시스템 개발을 위한 자료로 활용될 예정이다.

5. 참고문헌

[1] Jose Ventura, Developing an initial layout, Lecture note, MHI.