

류산망간에 의한 소금결정층의 형성방법과 력학적안정성에 대한 연구

차대광, 김룡홍, 현동수

경애하는 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《앞으로 지하초염수에 의한 소금생산방법과 생산공정에 대한 연구를 더욱 심화시키고 규모에 있어서나 공업화, 집약화수준에 있어서 세상에 자랑할수 있는 현대적인 소금생산공정을 꾸려놓아야 합니다.》

지난 시기 우리 나라의 제염소들에서는 단기결정화방법으로 소금을 생산하였다.[1] 그러다나니 장기결정화방법으로 소금을 생산하는 방법에 대하여서는 연구되지 못하였으며 특히 류산망간을 첨가하여 형성된 소금결정층에서 채염기가 작업할수 있는 력학적안정성을 평가하는 문제에 대하여서는 거의나 주의를 돌리지 못하였다.

본문에서는 장기결정화방법으로 소금을 생산하는데서 선차적인 문제로 나서는 류산망간에 의한 소금결정층의 형성방법과 력학적안정성에 대하여 서술하였다.

1. 류산망간에 의한 소금결정층의 형성방법

장기결정화방법으로 소금을 생산하자면 소금결정화를 촉진시킬뿐아니라 채염기가 충분히 작업할수 있는 굳은 소금결정층을 결정지바닥에 만들어주어야 한다.

결정지바닥에 굳은 소금결정층을 만들기 위하여서는 먼저 증발지로부터 결정지에로 넘어오는 $25.4^{\circ}\text{Be}'$ 의 짬물에 98%의 류산망간을 1/10 000의 비율로 섞은 다음 결정지에 100mm의 깊이로 판개하여야 한다.

그 다음 증발량에 따라 포화짬물을 보충해주면서 일정한 두께의 소금결정층이 생길 때까지 결정화를 진행하여야 한다.[1]

상온에서 $25.4^{\circ}\text{Be}'$ 포화짬물의 pH는 8.6~8.8이므로 짬물에 들어간 Mn(II)은 상대적으로 빠른 속도로 Mn(III)이나 Mn(IV)으로 산화되는데 이때 생겨난 망간산화물들은 소금결정화가 진행될 때 자기의 고유한 특성으로 하여 순수한 소금결정과는 다른 새로운 형의 소금결정을 만든다.

류산망간을 리용하여 소금결정층을 만드는 과정은 크게 2가지이다.

첫번째 과정은 결정지바닥토양층을 다지는 과정이다.

결정지바닥토양층의 다짐과정은 농도가 낮은 바다물을 판개하여 결정지바닥토양층에서 소금기를 빼는 탈염화과정, 결정지바닥토양층의 수분함량과 자름세기가 각각 18~20%, 0.1MPa로 될 때까지 말리우는 과정, 투수성이 $5 \times 10^{-4}\text{m/d}$, 결정지바닥토양층의 자름세기가 $1.7 \sim 2 \times 10^{-1}\text{MPa}$ 로 될 때까지 로라로 다지면서 소금기를 흡착시키는 과정으로 되어있다.

첫번째 과정에서는 결정지바닥토양층의 수분함량이 18~20%정도로 될 때까지 건조시킨 다음 6, 10t짜리 로라를 순차적으로 굴리면서 결정지바닥토양층의 최대밀도가 1.7g/cm^3 로 되도록 한다.

두번째 과정은 류산망간을 첨가한 25.4°Be'의 잔물을 결정지에 관개한 후 일정한 깊이가 유지되도록 증발량을 보충하면서 일정한 두께의 소금결정층을 형성시키는 과정이다.

두번째 과정에서는 2개의 동일한 결정지시험판을 만들고 한 시험판에는 류산망간을 넣은 잔물을 관개하고 다른 시험판에는 류산망간을 넣지 않은 잔물을 관개하여 대조되는 소금결정층들이 형성되도록 한다.

그리고 소금결정층을 형성시킬 때 잔물의 농도가 28.5~29°Be'이상으로 높아지면 그것을 완전히 배수한다.

순증발량이 10mm 될 때마다 한번씩 결정화된 소금결정층을 살창형식의 기구로 긁어준다. 그것은 소금립자들이 결정화될 때 서로 달라붙는것을 막고 모든 방향으로 소금결정층이 성장하도록 하기 위해서이다.

이와 같은 방법으로 7월 27일부터 10월 22일까지 결정지시험판에서 소금결정층을 만들기 위한 시험을 진행하였다.

7월 27일부터 10월 22일까지 일별 증발량과 강수량, 소금결정층의 두께변화를 관측한 결과는 류산망간이 소금의 결정화에 중요한 영향을 미친다는것을 보여준다.

일별 증발량과 강수량, 소금결정층의 두께변화는 그림 1과 같다.

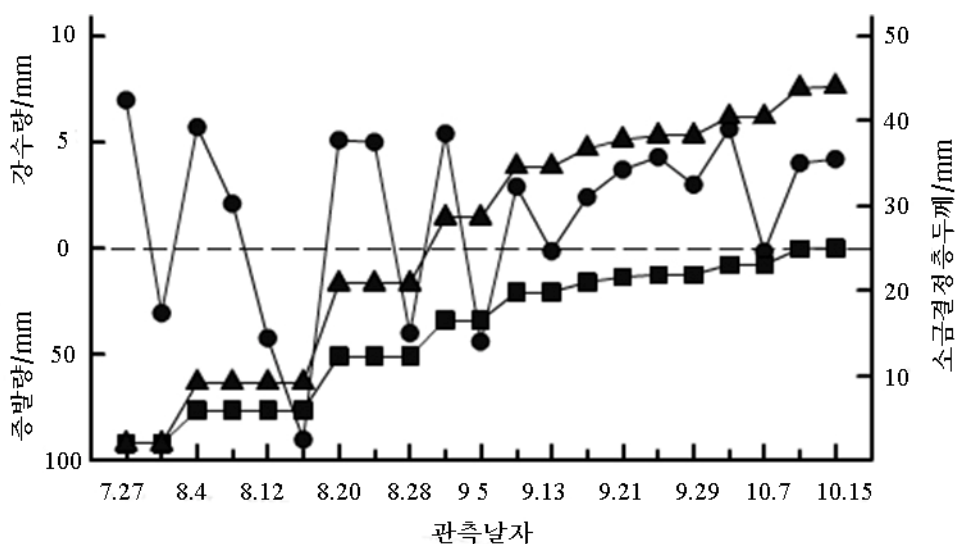


그림 1. 일별 증발량과 강수량, 소금결정층의 두께변화

● 증발량과 강수량, ▲ 류산망간을 넣었을 때 소금결정층두께,
■ 류산망간을 넣지 않았을 때 소금결정층두께

그림 1에서 보는바와 같이 시험결과는 류산망간을 첨가한 결정지에서의 소금결정층의 성장속도가 류산망간을 첨가하지 않은 결정지에서보다 훨씬 더 빠르다는것을 보여준다. 즉 류산망간을 넣은 결정지에서는 44mm 두께의 소금결정층이 형성되었다면 류산망간을 넣지 않은 결정지에서는 25mm 두께의 소금결정층이 형성되었다.

시험결과 류산망간을 넣은 결정지에서는 1d만에는 결정지바닥에 소금이 형성되기 시작하여 4d후에는 약 2mm 두께의 소금결정층이 형성되었다.

그리고 15d후에는 소금결정들이 조밀하게 붙어 7mm 두께의 소금결정층이 단단하게 굳어지며 84d후에는 44mm 두께의 완전한 소금결정층이 형성되었다.

이 소금결정층은 삼을 박기 힘들 정도로 굳고 얼음판처럼 매끈하다. 그러나 류산망을 넣지 않은 결정지바닥에서는 소금결정의 재결정화가 제대로 진행되지 못하여 소금결정층이 형성되지 못한다.

2. 결정지에 형성된 소금결정층의 역학적안정성평가

소금결정층의 역학적안정성을 평가하기 위하여 소성모형을 리용하였다.[2]

모형에서는 대칭성을 고려하여 채염기의 축선을 중심으로 절반구역(6 000mm×4 000mm×4 000mm)은 계산구역으로 설정한다. 여기서 XY, XZ, ZY면에서의 경계조건을 가정한다.

채염기의 부하조건은 다음과 같다. 즉 앞바퀴가 바닥에 닿는 면적은 400mm×100mm이고 뒤바퀴가 바닥에 닿는 면적은 200mm×100mm이므로 소금결정층과 바닥토양층에는 각각 12 740N과 7 840N의 힘이 작용하며 앞바퀴와 뒤바퀴사이의 거리는 2.1m이다.

계산모형에 대한 해석은 소성변형이 일어날수 있는 변화구간을 0.05mm로, 수렴오차를 0.005로 선정한데 기초하여 비선형적방법으로 진행한다. 평균유효응력과 수직변위사이의 관계는 작용하는 힘곡선의 최대부하와 무부하조건에서 평가한다. 만일 작용하는 힘을 제거한 후 잔류응력과 잔류변위가 령과 같다면 소금결정층은 파괴되지 않는것으로 볼수 있다.

현장에서 측정된 계산모형에 리용되는 소금결정층의 역학적특성값들은 표와 같다.

표. 계산모형에 리용되는 소금결정층의 역학적특성값

No.	특성값	류산망을 넣은 결정지		류산망을 넣지 않은 결정지	
		토양층	소금결정층	토양층	소금결정층
1	탄성계수/(N·m ⁻²)	20×10 ⁶	16×10 ⁹	17×10 ⁶	12×10 ⁹
2	빠쑹계수	0.30	0.36	0.30	0.36
3	응집력/(N·m ⁻²)	21 220	2.5×10 ⁶	14 240	1.8×10 ⁶
4	내부마찰각/(°)	21.55	40.4	15.6	38.7
5	자연밀도/(kg·m ⁻³)	1 840	1 620	1 800	1 573

표에서 보는바와 같이 류산망을 넣은 결정지바닥에서 측정된 모든 특성값들은 류산망을 넣지 않은 결정지보다 크게 나타나는데 이것은 류산망간이 소금결정층의 재결정화와 결정지바닥의 경화에 영향을 미친다는것을 보여준다.

표에 제시된 소금결정층의 역학적특성값들을 계산모형의 초기값들로 입력하고 두께에 따르는 소금결정층의 역학적안정성을 평가한다.

류산망을 첨가한 소금결정층과 첨가하지 않은 소금결정층의 두께를 30~75mm로 점차적으로 변화시키면서 힘이 작용할 때 최대응력, 최대수직변위와 힘이 작용하지 않을 때 잔류응력, 잔류수직변위에 대한 계산모의결과는 그림 2, 3과 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 류산망을 넣은것과 넣지 않은 경우에 최대응력과 최대수직변위값들은 소금결정층의 두께가 증가하는데 따라 감소하는 경향성을 나타낸다.

류산망을 넣은 결정지에서 최대수직변위가 가장 작은 소금결정층의 두께는 60mm이지만 류산망을 넣지 않은 결정지에서 그 두께는 75mm이다.

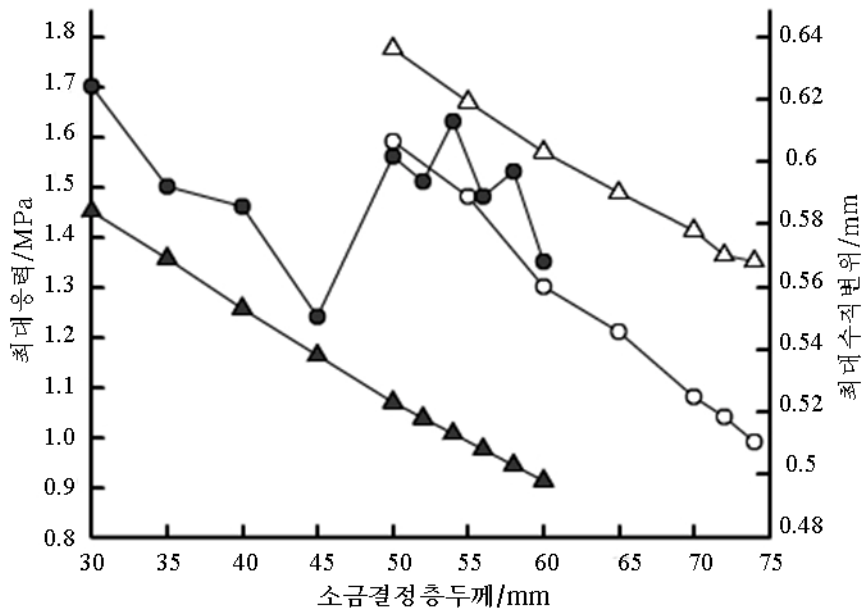


그림 2. 힘이 작용할 때 두께에 따르는 소금결정층의 최대응력과 최대수직변위
 ● 류산망간을 넣었을 때 최대응력, ○ 류산망간을 넣지 않았을 때 최대응력,
 ▲ 류산망간을 넣었을 때 최대수직변위, △ 류산망간을 넣지 않았을 때 최대수직변위

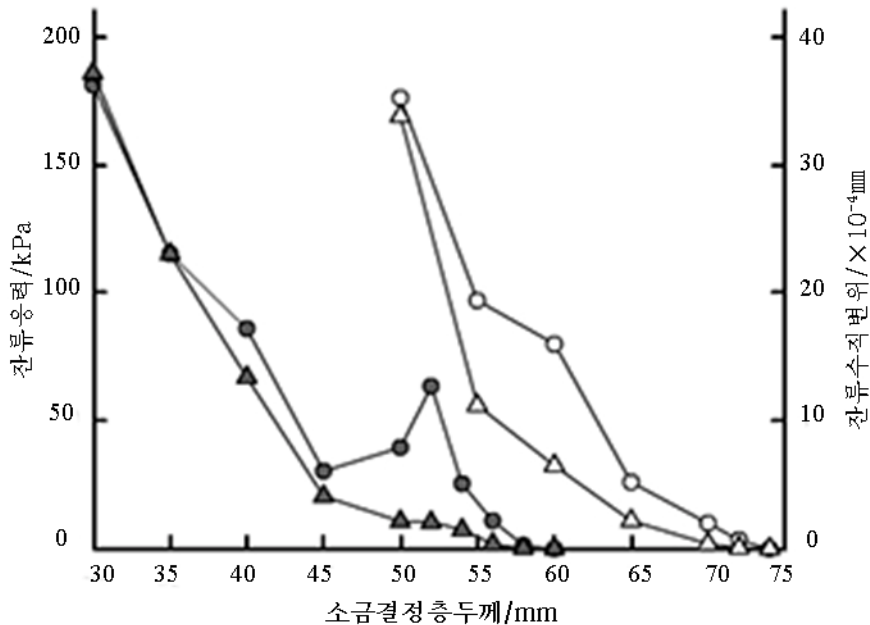


그림 3. 힘이 작용하지 않을 때 두께에 따르는 소금결정층의 잔류응력과 잔류수직변위
 ● 류산망간을 넣었을 때 잔류응력, ○ 류산망간을 넣지 않았을 때 잔류응력,
 ▲ 류산망간을 넣었을 때 잔류수직변위, △ 류산망간을 넣지 않았을 때 잔류수직변위

그림 3에서 보는바와 같이 일정한 변동은 있지만 류산망간을 넣은것과 넣지 않은 경우에 잔류응력과 잔류수직변위값들도 감소하는 경향성을 나타낸다.

맺 는 말

장기결정화방법으로 소금을 생산하자면 반드시 결정지바닥에 굳은 소금결정층을 만들어주어야 한다.

류산망간을 넣은 결정지에서 채염기가 작업할수 있는 소금결정층의 두께는 60mm정도로 보장하여야 한다.

참 고 문 헌

[1] 김룡흥; 지하초염수자원학, 김일성종합대학출판사, 211~216, 주체108(2019).

[2] 杉二郎; 日本海水学会誌, 29, 4, 133, 1975.

주체110(2021)년 4월 5일 원고접수

Study on the Formation Method and Dynamical Stability of Salt Crystal Layer by Manganese Sulphate

Cha Tae Kwang, Kim Ryong Hung and Hyon Tong Su

The thickness of salt crystal layer that salt collector can work in crystallization pond for adding manganese sulfate is 60mm.

Keywords: salt crystal layer, manganese sulphate