

자기(磁氣) 처리법에 의한 적수대책

<탁하지 않은 깨끗한 물의 공급>

秋田大學 吉村 昇
(Noboru Yoshimura)
鈴木 雅史
Masafumi Suzuki

본고는 日本의 建築設備와 配管工事
99年 3月호에 게재된 내용을
김성찬 전대한설비건설협회 설비기술
연구소장(현재 한빛설비기술사 사무소장)
이 번역한 것으로서 무단으로
복제하거나 복사·사용할 수 없음을
알려드립니다.
본 내용의 의문사항은
전화 (02)475-6106 [편집자 註]

[1] 머리말

물은 우리 인류의 생명의 원천이며 없어서는 안될 뿐만 아니라 각종 산업분야에 있어서도 불가결한 물질로서 넓게 이용되고 있다.

그러나 최근 공업의 눈부신 발전 등에 수반하여 수원과 지하수에 오염이 확산되고 수질의 악화를 억제하기 위한 대량의 약품이 투입되어 왔다. 또한 빌딩의 고층화·대형화·생활환경의 확대, 설비의 설치·장치의 대형화와 고도화에 따라 배관길이가 길어지고 있다. 이 때문에 물과 물을 운반하는 배관과의 접촉시간이 길어지고 배관의 부식 등에 수반하는 수질의 악화도 큰 문제로 대두되고 있다. 배관의 부식은 적수, 배관의 막힘, 더욱이 누수의 원인이 된다.

이것들은 예를들면 공조의 냉각효과의 저하 등을 일으키는 원인이 되고, 설비의 수명을 단축시키며 배관의 세정, 교환에 많은 경비를 요하게 된다. 이 때문에 배관의 부식을 억제하기 위한 여러 가지 연구를 하고 있다. 여기에서는 그중 자기(磁氣)를 사용한 수법에 대하여 기술한다.

[2] 적수의 발생

적수발생의 원인으로서는

- ① 강관중의 부식
- ② 지하수 등 수원에 포함되어 있는 철이온의 공기와 염소에 의한 산화
- ③ 철박테리아라고 말하는 미생물의 작용

이 생각된다. 최근에 특히 적수의 발생이 문제가 된 배경에는, 이미 말한 살균 때문에 염소투입이 증가하고 있다. 염소는 산화력으로 살균능력

이 우수한 반면 금속표면을 보호하는 방식피막을 손상시키는 성질을 갖는 강력한 산화제이다. 물론 통상의 잔존염소농도는 극히 낮아서 즉시 녹의 진행에 큰 영향을 준다고 생각하기 어려우나, 예를 들면 급수탑 등에 저장된 물중에서 증발 등에 의해 일시적으로 염소농도가 증가하여 여기에 따른 부식이 진행되는 것은 충분히 생각할 수 있다. 여기서는 상기 ①에 대하여 상세하게 기술한다.

강관내에 있어서는 아래에 표시하는 반응이 일어나서 부식이 진행된다고 생각된다. 철표면에 있어서는 자연전위분포에 따라 에노드와 케소드가 형성된다.

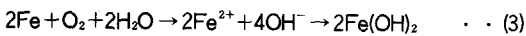
애노드측에 있어서



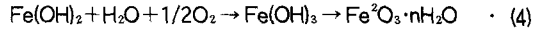
또한 케소드측에 있어서는



로 된다. 따라서 부식은 그 양방이 동시에 일어난다.



다시 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 는 용존산소에 의해



로 되고 물에 녹지 않으며 적청이라고 말하는 수산화제2철로 변한다.

적수는 처음에는 휴일 다음 날 장시간 물을 사용하지 않고 물을 흘렸을 때에 단시간 보일 정도의 상태로부터, 부식의 진행에 따라서 항상 적수가 보이며, 때로는 녹의 입자도 보이는 심한 정도의 상태로 추이(推移)하여 간다.

[3] 적수대책

적수대책은 [표1] 과 같이 대별할 수 있다. 배관의 교환은 완전히 녹을 제거할 수 있으나 방청효과는 기대할 수 없으며 시간이 경과함에 따라 다시 적수가 발생한다. 또한 공사가 장기간 소요되고 경비도 막대하다. 방청제의 주입과 화학약품에 의한 세정으로는 공기도 짧으며 경비도 비교적 값이 싸다. 또한 광범위에 걸쳐서 비교적 양호한 제청(提淸)효과와 방청효과가 기대된다.

한편 약품의 투입을 중단하면 녹이 재발하기 때문에 항상 약품을 투입할 필요가 있으며 안전

[표 1] 각종 적수대책의 비교

대책법	이 점	결 점
배관의 교환	<ul style="list-style-type: none"> • 녹을 완전히 제거할 수 있다 	<ul style="list-style-type: none"> • 방청효과를 기대할 수 없다 • 공기가 길다 • 막대한 비용을 요한다
방청제의 투입이나 화학약품에 의한 세정	<ul style="list-style-type: none"> • 공기가 짧다 • 경비도 비교적 싸다 • 광범위에 걸쳐서 비교적 양호한 제청 • 방청효과 	<ul style="list-style-type: none"> • 환경에 의한 영향 • 안전성에 대한 불안
탈기법	<ul style="list-style-type: none"> • 용존산소 제거에 의한 방청효과 	<ul style="list-style-type: none"> • 맛의 변화 • 제청효과는 기대할 수 없다
전기처리법	<ul style="list-style-type: none"> • 방청, 제청효과가 기대된다 	<ul style="list-style-type: none"> • 리닝코스트가 높다
자기처리법	<ul style="list-style-type: none"> • 용존산소 감소에 의한 방청효과 • 적청의 흑청화로 인한 제청효과 • 리닝코스트가 싸다 	

성과 환경의 영향이라고 하는 문제가 남는다. 탈기법에서는 수중의 용존산소를 제거하므로써 방청효과가 기대되는 반면, 수중의 산소가 없어지므로 맛의 변화가 예측되며 또한 제청효과는 기대할 수 없는 것으로 생각된다. 전기처리법에는 방청·제청 양 효과가 기대되지만 러닝코스트가 높다.

자기처리법은 수중의 용존산소를 감소시키므로써 방청효과, 적청을 흑청으로 변화시키므로써 입경을 증대시키고 침전시켜서 제청효과가 기대되며 영구자석을 사용하므로써 러닝코스트도 매우 저렴하게 할 수 있다.

[4] 자기처리에 의한 적수방지의 실험

4-1 실험장치

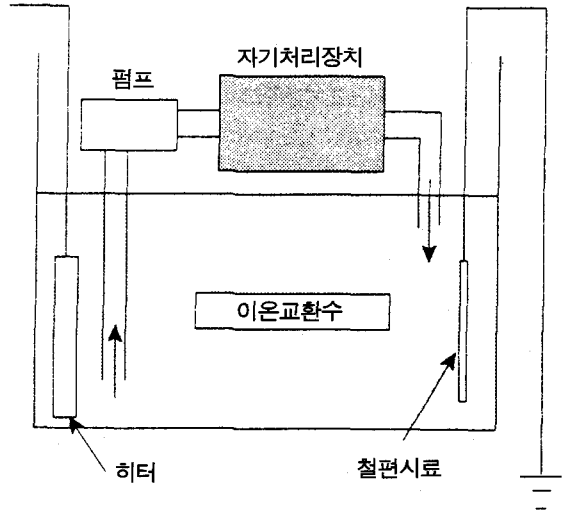
[그림 1]에 실험장치를 표시한다. 13ℓ 용량의 스틸수지제의 수조에 히터와 시료인 철편을 배치하고 이온교환수 6ℓ 를 채웠다. 펌프의 유량은 3.1ℓ / min 이고 수온은 히터로 약 30℃로 일정하게 유지하였다. 시료의 철편은 크기 0.2×85×75mm (두께×길이×폭)이며 순도는 99.5%이다. 전처리로서 철편표면은 #600의 샌드페이퍼로 연마하였다. 또한 철편은 지중배관과 비슷하게 하기 위하여 어스시키고 있다.

자기인가장치는 [그림 2]에 표시된 바와 같고, 영구자석(자속밀도 7500[G])을 사용하고 자석 4조를 대향(對向)시킨 교번자계(交番磁界)를 사용하였다. 피검액은 자기인가장치내에 설치된 유리관(내경 7mm)을 통과할 때에 자기인가된다. 즉 자속은 유리관내의 이온교환수에만 인가되고 수조내의 철편에는 인가되지 않는다.

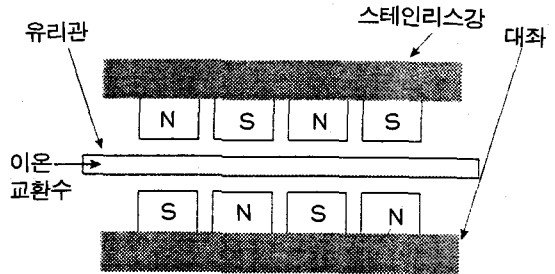
이 실험장치에 있어서

- ① 자기무인가(자기처리장치가 없는 것)
- ② 자기인가(磁氣印加)

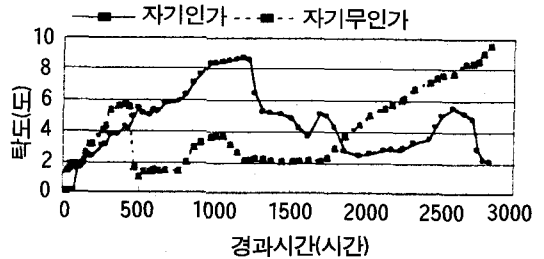
의 2종류에 대하여 실험을 하고, 탁도의 경시변화, 철이온농도의 경시변화를 측정하였다. 또



[그림 1] 실험장치



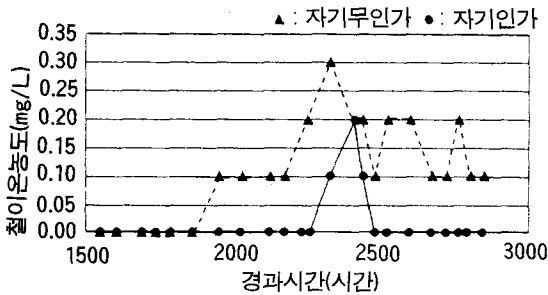
[그림 2] 자기처리장치



[그림 3] 탁도의 경시변화

한 시험종료후 (시험개시후 2,840시간)의 시료표면의 관찰, X선회절(回折)에 의한 분석을 하였다.

탁도의 계측에는 탁도계(S-100형 : SHIBATA)를 사용하였고 투시비탁도법에 근거하여 계



[그림 4] 철이온 농도의 경시변화

측하였다. 여기에서 사용한 탁도는 표준 카오린 (고령토) 1g을 1ℓ의 정제수에 현탁시켰을 때의 탁함을, 탁도 1,000도로 정의하고 있다.

4-2. 탁도의 경시변화

피검액 탁도의 경시변화를 [그림 3]에 표시한다. 그림으로부터 시험개시후 500시간 정도까지는 자기인가, 무인가와 함께 탁도의 상승이 보여진다. 그후 자기를 인가한 경우에는 약 1,200시간 후에, 자기를 인가하지 않은 경우에는 약 400시간 후에 탁도의 저하가 보여진다.

이것은 부식의 진행에 수반하여 피검액중 부유물의 흡착이 진행되고 자중에 의한 부유물이 침전하여 일으키는 것은 아닌가 생각된다. 또한 1,000시간 후 부근에서 자기를 인가한 경우에는 탁도가 저하경향을 보여주는 대신 자기를 인가하지 않은 경우에는 1,500시간이 경과하여 탁도가 상승경향이 나타나는 것을 알 수 있다. 1,500시간 경과 후 부근으로부터는 자기인가한 경우에는 입경이 약간 큰 침전물이 보여지는 것과 반대로 자기무인가의 경우에는 큰 침전물이 보여지지 않고 피검액 전체가 적수상태로 되고 있다.

이와 같이 자기처리에 의한 탁도를 저하시키며 적수의 발생을 억제시키는 효과를 나타내는 이유는 아래와 같이 생각된다.

일반적으로 녹의 진행은 (1)과 (2)식에서 나타

내는 바와 같이 금속결합내의 원자가 수용액을 매체로 해서 이온화하여 용매화한 애노드용해반응과 산화제의 캐소드 환원반응이 동시에 진행되는 전기화학적 산화반응이라고 생각된다. 용출한 수화철(水和鐵)이온 $Fe_2+ \cdot ag$ 는 가수분해와 용존산소에 의해 산화하여 철화합물의 콜로이드 상태 및 고체의 집합체인 부식생성물을 침전생성하여 철표면을 그들의 고차구조(高次構造)인 침전피막으로 덮는다. 이들의 부식생성물의 대부분은 상자성(常磁性), 혹은 페리자성이다.

그 때문에 이들의 부식생성물이 자기인가부에 도달하면 자화되는 것이며 그 결과 자화한 부식생성물이 상호흡착하여 조대화(組大化)한다고 생각된다. 생성물이 조대화하면 자중(自重)에 의해 침전이 촉진되어 탁도가 저하한다고 생각된다. 또한 자기인가에 의해 용존산소가 감소하는 것도 보고되고 있으며 이것에 의해 (1)과 (2)식의 전기화학적 산화반응이 억제되는 것으로도 생각된다.

4-3. 철이온농도의 경시변화

[그림 4]에 표시한 바와 같이 철이온농도는 자기인가, 무인가 어느 것에 있어서도 시험개시부터, 1,300시간이 될 때까지는 극히 낮은 값이지만 자기를 인가하지 않은 경우에는 철이온농도는 그후 증가경향을 나타내며, 특히 시험개시후 약1,800시간, 종말의 탁도가 상승경향을 나타내는 부근으로부터 급격하게 높은 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

이것과 반대로 자기를 인가한 경우의 철이온농도는 시험개시부터 2,300시간 부근까지 극히 낮은 값을 유지하였다. 이것으로부터 자기조사(磁氣照射)가 철이온의 용출을 억제시키고 있는 것이 아닌가라는 것을 알 수 있다. 철이온농도는 그후 약간 증가경향을 보여주며 2,500시간 부근에서는 극히 낮은 값으로 되돌아 왔다. 이것

으로부터 자기처리에 의한 철표면에 어떤 종류의 불활성막, 혹은 부동태막이 형성되어 철이온의 용출을 억제시키고 있는 것이 아닌가 생각된다.

4-4. 시료표면의 관찰

시험종료후 자기인가 및 무인가의 철편을 비교해 보니 자기인가시험을 한 철편쪽이 형태의 붕괴가 적었으며 녹의 진행이 억제되고 있다. 여기에서 시험종료후의 자기인가시험을 한 철편과 자기인가하지 않은 철편의 부식면적을 측정하여 그 부식비율에 대해서 검토하였다.

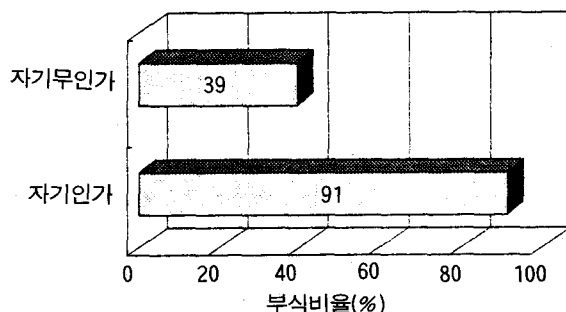
여기서는 명확하게 표면이 용기되고 부식이라고 인정되는 면적을 구하여 시료의 전표면적에 대하여 점유하는 비율을 구하였다. 그 결과 [그림 5]에 표시하는 바와 같이 자기를 인가하지 않은 경우에는 전표면적의 약 91%에 부식이 보여지는 반면 자기를 인가한 경우에는 부식면적은 전체의 약 39%에 머무른 것을 알았다. 이 결과로부터 자기조사가 방청에 대하여 유효하게 작용하고 있는 것을 안다.

자기처리를 한 경우와 하지 않은 경우에서 부식의 진행 상황에 크게 틀림을 보여 주었으므로 다음에 SEM을 사용하여 녹의 미세한 구조를 관찰하였다.

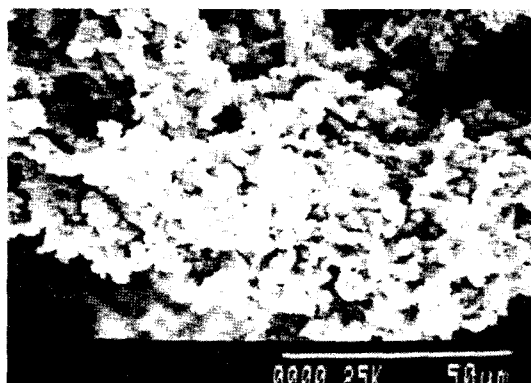
[그림 6] (a)는 자기처리를 한 시료를, (b)는 자기처리를 하지 않은 시료표면의 사진을 보여준다. 이것으로 자기처리를 한 경우에는 입경이 큰 녹이 관찰된 반면 자기처리를 하지 않은 경우의 입경은 작다. 또한 자기무인가의 철편은 갈색인 반면 자기인가시험을 한 시료는 흑색으로 변한 것을 알았다. 이와 같이 자기를 인가한 경우와 무인가의 경우에서 철편표면의 성분이 다르다는 것이 예상된다.

4-5. 시료표면 생성물의 X선회절에 의한 분석

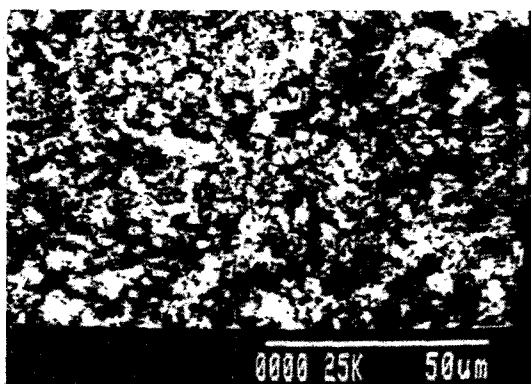
시료표면의 녹을 깎아내고 자석을 이용하여 자석에 부착하는 물질과 부착하지 않는 물질로



[그림 5] 부식비율



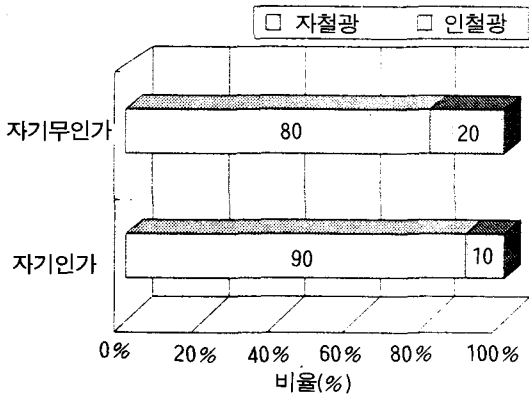
(a)자기처리한 철편의 표면



(b)자기처리하지 않은 철편의 표면

[그림 6] 시료표면의 SEM사진

분리할 수 있었다. 자기처리한 시료에서는 전체의 약 90%가 자석에 부착하고 자기처리 하지 않



[그림 7] 자철광과 인철광의 비율

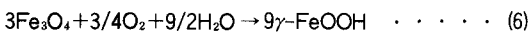
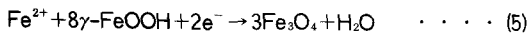
은 시료에서는 약 80%가 자석에 부착하였다.

자석에 부착한 물질은 색이 검고, 부착하지 않은 물질은 색이 빨갱게 되어 있다. X선회절에 의한 측정으로부터 자석에 부착한 물질은 자철광(Fe_3O_4), 자석에 부착하지 않은 물질은 인철광($\gamma-FeOOH$)인 것이 확인되었다.

이들의 결과로부터 [그림 7]에 표시한 바와 같이 자기처리한 철판에서는 표면에 자철광이 많이 존재하며 인철광의 비율이 적은 것을 알 수 있다.

한편, 자기처리 하지 않은 철판 표면에는 자기 처리한 것에 비하여 인철광의 비율이 많은 것을 알 수 있다.

$\gamma-FeOOH$ 에는 아래에 표시하는 산화환원반응이 있다.



(5)식은 $\gamma-FeOOH$ 의 환원반응을, (6)식은 $\gamma-FeOOH$ 의 재산화반응을 표시하고 있으며 자기 처리에 의해 Fe_3O_4 의 증가, $\gamma-FeOOH$ 의 감소가 보여지므로 자기처리에 의해 환원반응이 촉진되고 있는 것이 명확하다.

일반적으로 $FeOOH$ 및 비정질(非晶質)녹은

적청(赤靑)이라고 부르고, FeO_4 를 주성분으로 한 녹은 흑청(黑靑)이라고 부른다. 적청이 흑청으로 변하는 것으로써 철판표면이 치밀하고 밀착성이 좋은 부동태막으로 덮여져서, 그 결과 녹의 진행이 억제된다고 생각된다. 이 부동태막은 적수의 방지도 기여하고 있다.

[5] 맺음말

이상의 실험으로부터 자기처리에 의해 수중 부유물의 부착을 촉진하고 자중에 의한 침전을 촉진함으로써 탁도를 억제하는 효과가 있는 것, 철판표면의 입자를 크고 안정된 것으로 변형시켜 수중에 용융을 억제하는 효과가 있는 것, 산화반응을 억제하여 적청의 발생을 억제하는 효과가 있는 것이 확인되었다.

그러나 자기처리수가 철판표면의 환원반응을 촉진하는 이유는 아직 명확치 않으며, 금후 거듭 연구가 기대된다.

吉村 昇(昭和18年11月5日生)
 秋田大學 工學資源學部 電氣電子工學科
 工學資源學部長 教授
 〒101-8502
 秋田市手形學園町1-1
 TEL : 018-889-2328
 FAX : 018-833-5477
 E-Mail : yoshi@jpc.akita-u.ac.jp

[筆者紹介]

鈴木雅史(昭和37年6月5日生)
 秋田大學 工學資源學部 電氣電子工學科 助教授
 〒101-8502
 秋田市手形學園町1-1
 TEL : 018-889-2330
 FAX : 018-837-0406
 E-Mail : suzuki@jpc.akitau.ac.jp