

<技術報告>

화학공장에서의 부식진단 기술

尹 昌 求*

On the Investigation Technique of Corrosion in Chemical Plants

C. K. Yun*

Abstract

Major problems in an investigation of corrosion in chemical plants are: understanding the field conditions (operation, sampling), laboratory tests (chemical analysis, testing materials), procuring documents (design criteria, maintenance record, accident report), and relations with plant personnel (engineers, executives). In this report, we discuss these problems in view of our recent experience with a local industry.

초 록

부식진단이 목표로 하는 것은 뜻하지 않은 조업중단, 경제적 손실, 안전사고등의 예방이다. 기존의 화학공장 시설을 진단하는 경우에 문제되는 점은 현장파악(조업조건, 샘플링등), 실험실 테스트(분석, 재료 시험등), 기록확보(설계조건 '장치이력, 사고보고서등) 및 대인관계(조업인원, 경영진등)로 크게 나눌 수 있다. 이 보고에서는 최근 경험을 기준으로 하여 국내 기존 화학공장 부식진단의 문제점등을 토의한다.

1. 서 론

공장의 부식은 많은 산업시설을 해에서 도입해야 하는 우리에게 가장 절실한 문제의 하나라고 말할 수 있다. 특히 화학공업과 같이 자재 소모율이 높은 경우의 부식과 방지기술이 각개 공장의 생산성은 물론 국가적 차원에서의 공업화 계획에 미치는 영향은 막대한 것이다. 부식문제는 많은 인자의 영향을 받는 때문에 국지적 성격이 강할뿐더러 이 보고에서 다루려는 부식진단의 경우에는 공장편제와 대인관계등의 요소가 크게 작용하므로 짧은 경험이기는 하나 최근 국내에서의 부식진단 케이스를 중심으로 하여 문제점을 토의하는 방법을 택하기로 한다.

부식진단이 수행되는 경우는 흔히 다음과 같다. 공장에서의 생산과 정비상의 문제가 일어나 부식문제라고 판단되어 이의 해결을 자체의 기술진이나 외부전문가에 의뢰하게 되기도하고 때에 따라서는 여러해 동안에 거듭되는 문제로 골치를 앓거나 고장의 가능성을 우려하여 부식진단을 생각하게 된다. 진단을 담당하

이는 우선 진단계획을 수립하고 여러가지 방법에 의한 문제의 분석과 현황파악을 통해 원인을 규명하여 방지 대책을 제시함으로써 진단이 끝나게 된다.

부식진단이 목표로 하는 것은 첫째로 뜻하지 않은 조업중단을 방지하여 유휴로 인한 손실과 처리중인 원료와 제품의 손실을 줄이려는 것이고, 둘째로 안전사고를 예방하여 조업인원과 각종 시설물에 피해가 없도록 하려는 것이며, 셋째로 부식생성물에 의한 제품오염을 막으려는 것 등이다.

부식진단의 열쇠는 부식으로 인한 각종 사고의 정확한 원인분석에 있다해도 과언이 아니다. 사고원인은 설계, 제작, 조업상의 문제로 대부분된다. 설계시에 공정환경을 충분히 고려하지 않은 재료선택이나 미숙한 구조설계 또는 잘못된 선정된 조업절차등이 사고의 근본원인인 경우가 드물지 않다. 특히 우리나라에는 외국에서 들여온 화학공장이 많아 이러한 설계상의 잘못이 있더라도 밝히기 힘든것이 보통이다. 정상조업에 들어가기도 전의 시운전단계에서 수명이 다 해 버린 화학장치들 얘기를 심심치 않게 들을수 있다. 장치제작과 공장건설 상의 결함도 설계문제와 공통되는 점이 많다. 미숙한 용접순서라던가 부실한 연처리나 페인팅, 두리

* 한국과학기술연구소 화학공정연구실
Korea Institute of Science and Technology.

한 배관등은 물론이고 설계와 어긋난 제작이나 재료선택이 모두 사고원인으로 등장하게 된다. 그러나 가장 빈번한 사고원인은 조업상의 문제들이다. 조업인원의 미숙으로 잘못된 운전을 하거나 특정장치를 설계시에 예상않았던 험한 환경에서 사용하는것, 경기에 따라 설비용량을 초과한 무리한 생산을 요구하는 경영방침, 설계수명이 지난 장치등은 조만간에 부식문제를 일으키게 마련인 것이다. 여기에 또 한가지 추가한다면 미숙한 부식진단에 기인한 방식대책 자체가 사고원인이 될 수도 있는 것이다.

2. 화학공장 부식진단의 문제점

중소규모 또는 대규모 화학공장의 일개 단위를 대상으로 하는 경우, 진단요원의 구성은 최소로 잡아 경험있는 부식기사와 기능공 각각 한사람씩이며 공장의 계장설비와 실험기구의 미비로 인해 빈번한 현장측정과 현장분석을 요하는 경우에는 기능공이 한두 사람 더 추가된다. 이 밖에도 조업요원 중에서 계장급 이상의 기사 한명이 현장에 계속 수행할 것과 진단반을 뒷받침하는 분석시험, 재료시험, 문헌정보등의 서비스가 불가결하다.

국내에서의 부식진단에는 여러가지 제약조건이 따르는데 주로 문제되는 것이 진단요원의 경험부족, 시간과 경비의 제약, 생산기술의 해외의존도 등이다. 아직 부식진단이 독립된 기술로 인정받지 못할 뿐더러 부식문제나 정비관계에서 능력을 나타내는 현장요원은 곧 생산담당으로 "승진"되는 일이 보통이며 국내의 방식관계 회사나 연구기관들도 화학공장과의 경험이 적어 충분한 자격의 진단반을 구성하기가 힘든 형편이다. 앞으로 부식진단의 해택을 보는 화학공장이 많아져 가면 점차로 해결될 문제이지만 당분간은 주요 제약조건이 된다. 시간과 경비의 제약이 요구하는 바는 완전무결한 진단보다도 최단시간에 최소경비로 골자만을 파악하라는 것인데 예를 들어 특정장치의 수명연장보다는 운휴기간의 단축을 바라는 경영자의 생산 제일주의가 고려되어야 하는 것이다. 생산기술의 해외의존도가 주는 제약은 국내의 대다수 화학공장이 외국에서 도입된 것이라 설계조건과 기초데이터가 미비한 경우가 많아 이들을 추정하는 작업이 부식진단에 포함되어야 하는 경우와 기술도입시의 제약조건이 불리하여 실제제작에서 오는 원천적 부식문제의 추궁이나 설계자로 부터의 데이터획득이 힘든 일 등이다.

화학공장의 기존설비에 대한 부식진단에 따르는 많은 문제점들 중에 가장 중요한 몇가지만 간추리면 현장파악, 기록 확보, 실험실테스트, 방식대책수립 및 대

인관계 등이다.

(1) 현장파악

현장조건을 파악하는 데에는 경제적이고 융통성있는 사전계획이 필요하다. 현장진단에 가장 이상적인 시기는 공장의 정기운휴를 전후해서인데 특히 공장의부에서 진단반이 오는 경우에는 정상조업중의 방문을 통해 생산과정, 조업조건 및 각개장치의 역할과 환경을 파악한 후에 운휴중 정비작업과 장치내부를 관찰하고 가능하면 운전을 멈추는 과정과 다시 시작하는 과정을 검토하는 것이 필요하다. 본격적 부식진단의 경우에는 전공정에 걸쳐 샘플을 채취하게 되는데 기초데이터가 미비한 공장의 경우에는 전체적 물질수지부터 세워야 하는 경우가 많다. 이는 화학공장에서의 부식은 반드시 문제부위에만 원인이 있는 것이 아니며 확실한 물질수지가 없이는 조업조건 파악이 힘들기 때문이다. 샘플 대상이 되는 원료, 중간제품, 각종재료등은 우선 충분한 양이 필요하며(특히 부식시험이 따르는 경우) 연속식 공정의 경우라 해도 이들의 상태가 일정하거나 균일한 것이 아닌 때문에 여러번에 걸쳐 채취한 샘플들을 통계적으로 취급하는 것이 바람직하다. 샘플의 채취, 보관및 운송과정중에 변질하면 의미가 없으므로 이에 대한 대책이 계획에 포함되어야 한다. 샘플채취는 가능한한 현장요원에 맡기지 말고 진단요원이 직접 하는 것이 현명하다. 샘플채취가 적당하지 않은 개소에는 현장에서의 측정과 분석등이 따르는데 온도라던가 산소함량의 측정 및 특정장치의 분해검사, 사진촬영등이 그 예다. 탈생이나 사고가 있어 대체된 설비의 문제부위를 확보하여 관찰 또는 샘플채취 가능토록 하는 것이 중요한데 이에는 공장과의 사전 협조가 필요한 것이 보통이다.

현장방문에서 기대할 수 있는 가장 큰 수확은 조업요원과의 의견교환이다. 인간적 관계를 활용하여 최대의 협조를 얻는것과 동시에 비관적사고를 유지하는 기술이 필요한데 현장에서는 주요장치마다 조곡식의 "미신"이 있는것이 보통이며 이른바 현장경험중에도 사실과 추측을 구분해서 받아들이는 것이 중요하다. 마찬가지로 진단요원이 특정 부식문제에 대한 즉흥적 추측을 마치 사실에 입각한 결론인양 제공하고 싶은 충동도 억제해야겠다.

(2) 기록 확보

현장파악과 실험실테스트의 불필요한 중복을 피하려면 공장자체의 각종 기록을 사전에 확보하는 일이 중요하다. 전체공정과 각개장치의 최초설계조건은 체계가 갖추어진 대단위 공장의 경우 보유하고 있는 수

가 많으나 중소기업의 경우에는 극히 드물다. 이들 조건을 되찾기 위해서는 원래의 설계제작자와 연락을 해야 하는데 외국업자의 경우에는 기술계약이 계속되고 있지 않음한 협조의 예가 드물고 국내업자의 경우에는 업체들의 빈번한 폐합때문에 난점이 있다. 조업기록 역시 제작설비와 실험설비를 구비한 곳에는 유용한 조업 데이터와 분석치들이 정리되어 있으나 중소기업의 경우에는 그런 예가 드물다. 또한 문제되는 것은 각개 장치의 이력부가 미비한 것인데 특히 보수시에 사용하는 재료와 구조변경사유등이 정비요원의 기억에만 의존하는 일이 많아 진단상의 에로를 가져온다. 부식에 기인하는 사고가 있었던 경우에는 사전보고서와 당시의 사진등이 큰 도움이 된다.

부식진단요원이 외부인인 때에 기록확보가 힘든 것은 공장측에서 공정 및 조업상의 비밀누설을 우려하는 경우이다. 여기에는 부식진단반이 속하는 기구의 공신력과 진단요원들이 대인관계에서 성공적이었느냐의 여부가 문제가 된다.

(3) 실험실테스트

실험실에서의 테스트를 계획하고 주관하는 사람이 부식 진단반장 자신이면 가장 적당하다. 필요한 시험의 종류와 분석항목등을 결정하는 때에는 물론 시간과 경비의 제약이 중요하며 현장에 부족된 실험 설비를 최대로 활용하는 한편 본격적 재료시험등은 전문가에 의뢰함이 타당하다. 부식시험, 특히 환경모의시험기술에 대한 문헌자료가 국내에 많지 않은 것이 난점의 하나로 지적될수 있다. 다른방법에 의한 현장파악과 기록확보가 잘되면 실험실측의 부담이 크게 덜어진다.

(4) 대책수립

화학공장의 경우에 가장 손쉬운 방식 대책의 하나가 부식환경이나 조업절차를 바꾸는 방법이다. 그러나 이 대책이 비현실적인 경우가 많은것은 제품의 생산량과 품질을 유지해야만 하는 제약 때문이다. 그 다음으로 할수 있는 것이 장치의 제질변경인데 완벽한 제질이 있는줄을 알아도 경제성은 물론이고 국산품이 없고 수입이 원활치 않거나 국내기술로 가공이 힘들어 사용할수없는 일이 흔하다. 특히 최초설계 취지를 알수없는 경우에는 안전한 대체재료 선정이 힘든 것이다. 아무튼 방식 대책의 제시를 위해서는 현장요원과의 긴밀한 협조와 국내외에 걸친 기술정보획득의 중요성이 더욱 강조된다.

(5) 대인관계

공장의부로부터의 진단인 경우, 공장측 요원들과의 관계가 진단의 성패에 미치는 영향이 크다. 현장파악

과 기록확보에 현장기술진의 협조가 얼마나 중요한가에 위에 설명한 바와 같다. 부식진단은 근본적으로 진단반과 조업요원간의 공동작업이므로 이를 상호 인격하고 업무내용을 이해함으로써 서로 인는것이 많아진다. 여기에서 잊지 말아야 할 것은 특정 공장설비의 운전과 성능에 대해서는 조업요원이 제일의 전문가라는 사실이다. 특히 교육수준의 차이가 큰 기능공을 대하는 경우에 상대방의 직업의식을 존중하고 이해성과 겸손한 태도를 유지함으로써 많은 협조와 정보를 얻을수 있다.

경영진과의 관계에는 진단목적, 절차및 협조사항을 미리 인식시키는 일이 앞선다. 만약에 부식진단의 결과가 조금이라도 기술진의 책임을 추궁하는 근거로 쓰여질 가능성이 있다면 성공적 진단과 효과적 방식이 어려워 지므로 여기에 대하여 분명히 해둘 필요가 있다. 또한 공정상의 비밀보장문제등에 대하여 경영진의 확신을 가져야만 현장요원과의 협조가 가능해진다.

진단결과 방식대책을 제시하는 단계에서도 대인관계가 큰영향을 미친다. 최종적으로 방식업무를 수행하는 것은 현장요원이므로 이들 기술진이 문제를 충분히 인식하고 제시하는 방식대책을 긍정적으로 받아 들일수 있는 선에 도달하는 것이 진요하다. 특히 비효율적이었던 자체방식경험에 기인한 회의적 태도를 보이는 경우에 끈기있는 설득이 요구될 수 있다.

경영진에 대한 최종보고에서 대책의 윤곽과 요점을 잘 전달하는 것이 효과적 방식업무를 가능케하는 첨점의 하나다.

3. 부식 진단의 예

최근 본 연구실에서 맡았던 부식진단의 예를 검토함으로써 앞에 기술한 일반론과 비교시키려는 것이 여기서의 목적이다. 진단대상이 되었던 화학공장은 중규모의 것으로서 부식문제에 대한 상당기간 동안의 자체진단 노력끝에 외부에 의뢰하게 되었다. 본 연구소와의 계약상 공정과 직접 관련된 부분의 내용을 밝힐수 없으므로 화학공장에서 혼란 공업용 보일러의 부식문제에 토의를 국한시키기로 한다. 진단의뢰의 직접적 계기가 된 보일러관계의 말썽은 수관파열 문제와 건조기속에 응축된 증류수의 부식성의 두가지였는데 일단 자체의 해결책을 따라 부식된 보일러 수관을 모두 갈아 끼우고 건조기 내부의 응축수 회수 계통은 많은 경비를 들여 구조와 재료를 모두 바꾸었다.

(1) 현장파악과 기록확보

이 공장의 생산공정은 진단반이 처음 접하는 것이었

때문에 열번 가랑에 걸친 방문을 통하여 공정을 익히고 현장파와 작업을 실시하였다. 우선 각 성분별 물질수지를 수립하기 위한 전면적 샘플 채취와 아울러 부식된 금속재료들을 수집하였다. 보일러 외에는 거의 모두가 외국에서 도입된 근대적 설비이지만 약간의 장치별 명세 밖에 설계 조건등 데이터가 남은것이 없어 진단상 난점이 컸고 주요 장치별 이력 카드가 있기는 했으나 최근 기록이 없어 별로 도움이 되지 못했다. 보일러는 국내에서 납품된 10t/h 수관식(10kg/cm²) 3대로서 제작회사와 연락하여 쉽게 설계 데이터를 구할 수 있었다. 보일러가 공급하는 증기는 주로 건조기(해외도입설비)에서 소비되는데 이속에서 응축수에 부식된 금속재료(알루미늄 합금, 독일 G-AlMg²)의 샘플은 쉽게 얻었으나, 보일러 수관(탄소강관, 일본 STB 35)의 파열부 샘플은 구하지 못해 파열당시의 사진과 정비요원들의 기억을 더듬어 상태를 추정하는 도리밖에 없었다. 이는 교체된 수관의 상한 부분을 모두 잘라낸 후 원료저장소 확장공사에 사용해 버린 때문이었다. 보일러 관계의 배관과 물 샘플의 채취 개소는 그림 1과 같다. 샘플고유 번호로는 샘플 개소를 표시하는 로마자(K~Q)와 샘플일자를 구분하는 숫자(1~5)를 함께 사용하였다.

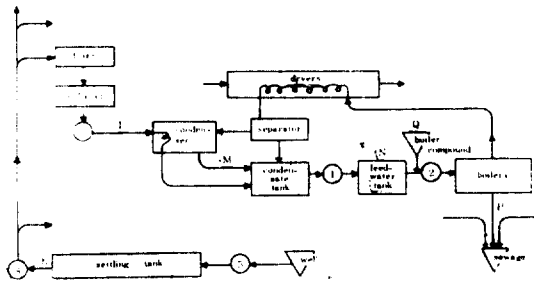


Figure 1. Flow diagram for boilers and dryers. Circles denote pumps.

샘플 채취작업중의 흥미있는 사진 두가지를 소개해본다. 모든 샘플을 진단반원들이 직접 채취하다가 용수처리장에 많은 거리관계로 현장공원 한 사람을 시켜왔던 바(K1), 나중에 분석하여 보니 용수가 아니라 증류수에 가까운 물임이 판명되었고 이로인한 물질수지상의 혼란과 분석법의 제검토등에 한 주일 가랑의 시간 낭비가 있었다. 그후에 다시 채취한 용수샘플들(K2, K3 등)과는 너무도 판이하므로 샘플 K1이 어디

서 온 것인지 지금도 궁금한 일이다. 다음으로, 건조기에서 응축된 증류수의 pH 문제가 있었는데 표 1에 보이는 바와같이 샘플(M1~M5)과 측정일자에 따라 중성으로부터 높은 알칼리성까지의 여러 다른 값을 나타내는 혼란이었다.

표 1. 응축수 pH 측정치

샘플	채취일자	측정일자	pH	비고
M 2	7/20	7/22	8.7	마개있는 병에 담아 보관 비커에 담아 밤새 방치후 현장으로부터 탁송
		8/8	7.2	
M 3	7/30	8/1	9.8	
		8/8	10.0	
		8/16	9.8	
		8/20	7.8	
M 5	8/20	8/20	7.3	

공장측에서 현장 측정된 값도 pH 7가량의 중성으로 보고되었다. 결국 밝혀진 것은 응축수의 pH는 10에 가까우나 샘플채취후(특히 냉각중)에 대기와 접촉하면 탄산가스를 흡수하여 중화된다는 사실이었고 응축수중의 알칼리분은 건조기 부식문제의 이해에 중요한 열쇠를 제공하여 주게 되었다.

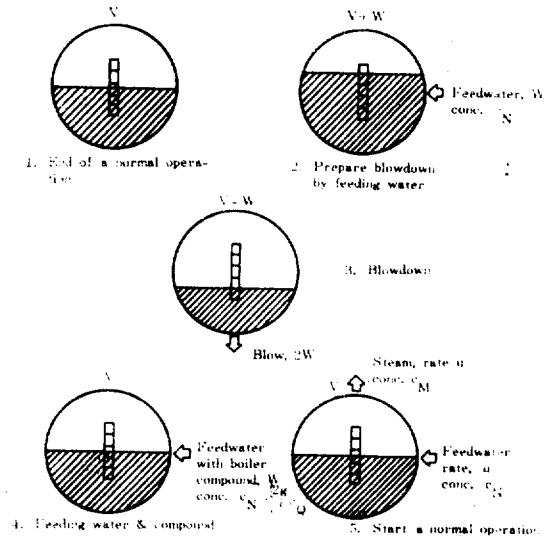


Figure 2. Boiler blowdown sequence. Only the upper drum and its level indicator are shown. V, V+W, V-W indicate the total quantity of water in the boiler.

이 공장에서는 보일러 청관제를 물과 가루 두가지 형태로 판매, 사용하는데 이는 관수의 알칼리성유지, pH 완충작용, 관석형성방지등을 목적으로 하는 것으로서 지단판이 청관제 회사와 직접 연락을 취하여 성분 저등의 문제점을 토의할 수 있었다. 현장의 정비과 요원과 보일러공들로부터 매 8시간마다 그림 2와 같은 순서로 관수의 일부를 불어내고(blowdown) 그동안의 증기발생 분당 30g의 청관제를 첨가해 주는 것을 알게 되었는데 청관액과 가루를 구분않고 사용해 오다가 최근에는 청관액을 주로 쓴다는 얘기가었다.

이도 보일러공과의 조업철차 토의중 재미있던 일은 증기 발생량보다 더 많은 양의 물이 응축되어 돌아온다는 주장이었다. 배관을 따라가며 상세히 검토한 결

과 밝혀진것은 그림 1에 보인바와 같이 연화기를 가진 세물이 급수탱크가 아니라 응축수 탱크로 공급된다는 사실이었다.

(2) 실험실 테스트와 문제 해석

현장에서 가져온 샘플들의 분석 항목은 배당된 인원, 시간과 예산상의 제약때문에 최소로 줄여 잡았다. 이 중에 용존산소는 현장에서 측정하였고 pH, 비전도도, P-알칼리도, M-알칼리도, P-산도, M-산도 Ca, Mg, CO₂(전탄산)등의 분석은 연구실 자체에서하고 Na, Fe, SO₄, Cl, PO₄, CO₂(유리탄산)등은 분석실애, 그리고 금속재료들의 시편 제작과 현미경 사진등은 재료 시험실에 각각 의뢰하였다. 각 샘플의 분석치는 표 2와 같다.

표 2. 각 샘플의 분석치

번호	장소	비도 m-mho/cm	전도도 pH	P-알칼리도	M-알칼리도	P-산도	M-산도	Ca 경도	Mg 경도	Fe	Na	SO ₄	Cl	PO ₄	총 CO ₂	유리 CO ₂	용존 산소 중류수분		O ₂ 샘플온도	
				CaCO ₃ 환산 ppm						ppm					mmHg		°C			
K1	용수	(0.13)	(6.5)	(0)	(19)	(3)		(19)	(11)	(0.4)		(8)	(4)				5.7	5.5	116	
K3			6.9	0	18	7		72	35			22	37		53.4	34.0				
L2		연수	0.49	6.5	0	43	8		2	0	0.3		18	20				4.3	4.7	100
L3												18	23			18.2				
M2	응축수	0.03	8.7	0	5	3		2	0	8.2	8	1	2	0.1		0	1.1	1.8	37	30.5
M3				9.8	6	20	0		0	3						14.4	0			
N2	보일러	0.21	7.3	0	20	2		3	0	0.7		13	12	0.3	18.4		2.6	2.9	63	33.0
N3	급수		7.6														1.3			
P1	보일러		11.8																	
P2	관수	6.00	11.8	69	549	0		0	1	12.6	1200	539	322	39.0		0	1.7	2.3	52	35.5
P3				11.7												144.0	0			

우선 보일러 수관의 부식이 안(관수쪽)으로부터나 또는 밖(불꽃쪽)으로부터나를 결정해야 되었는데 정비공들의 증언을 종합하여 관벽이 안으로부터 얇아진 끝에 구멍이 난것이라는 결론을 얻었다. 수관이 파열 또는 약화된 곳은 아랫트립보다 조금 윗 부분으로 백토에 묻혀 직접 불꽃이 닿는곳이 아닌것과 약화된 수관들의 외면은 형태를 유지하고 있는 사진등도 이 결론을 뒷받침 해주었다. 보일러 수관내에서의 film boiling 현상에 의해 열 전달이 나빠지고 따라서 관벽이 파열되는 지점이 생긴다는 것은 이내 잘 알려져 있는 사실이므로 이에 입각한 설명을 시도하였다. 즉, 이러한 파

열점에서 관수가 급격히 농축, 국부적으로는 수 %의 농도에 까지 달하는 가성소다 용액이 되어 뜨거운 관벽과 계속 접촉하므로써 부식을 일으켰다는 것이다. 이 방향으로의 생각에 잇단인 일어나는 의문은 첫째로 어찌서 청관제속의 인산소다가 pH 완충작용을 못하였는가 하는 점이고, 둘째로 보일러에 들어가는 것은 급수와 청관제 뿐인데 농축된만한 가성소다의 출처는 어디인가 하는 점이다. 이에 대한 해답을 얻기 위하여 실제로 사용해온 청관제들을 분석, 표 3과 같은 결과를 얻었다.

표 3. 청관제 분석치

샘플	비중	PO ₄ (Na ₃ PO ₄)	CO ₂ (Na ₂ CO ₃)	SO ₄
		무	계	%
청관액	1.144	4.2(7.4)	1.7(4.2)	0
청관가루	—	13.7(24.0)	16.2(39.0)	

여기에서 주목할일은 청관제의 인산분함량은 기대보다 낮은 반면에 탄산분은 꽤 많은 양이라는 사실로서 이것이 보일러 관수의 pH에 미치는 영향을 보기위해 두 청관제와 관수샘플(P3)을 각각 증류수에 희석할때의 pH 곡선을 구한것이 그림 3이다.

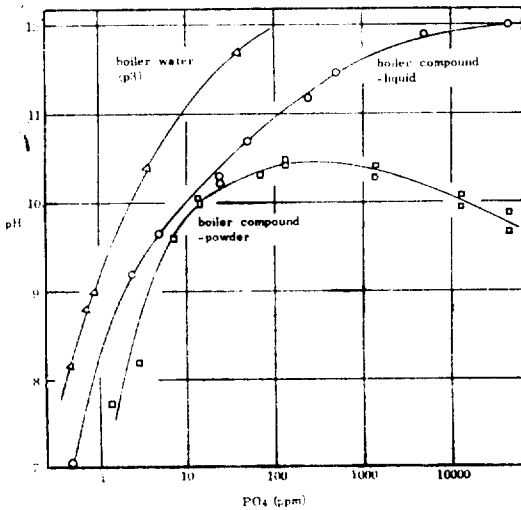


Figure. 3. pH of boiler compounds and boiler water upon dilution.

이 그림에서 청관액의 희석곡선은 순수한 제 3인산 소다의 것과 일치하나 청관가루의 경우는 매우 다른데 이는 소다회 함량이 미치는 영향인 것으로 보인다. 그러나 가장 흥미있는 사실은 관수의 희석곡선이 어느 청관제와도 일치하지 않는다는 것이다. 표 2에 보인 이온농도 분석치를 관수속의 소다염들로 환산하고 남

표 4. 보일러 관수속의 소다화합물 환산농도

분자식	ppm
Na ₂ SO ₄	795
NaCl	532
Na ₃ PO ₄	67
Na ₂ CO ₃	347
NaOH	974

는 나트륨분을 모두 가성소다로 간수하면 표 4와 같은 성분표를 얻는다.

위의 표에 의하면 관수의 가성소다 함량이 놀랍게도 0.1% 가량이고 실제 pH 11.8은 청관제 희석곡선들보다도 순수한 0.1% NaOH 수용액의 완전해리 pH 12.4에 오히려 더 가깝다. 그러면 이 과량의 가성소다는 어디에서 왔는가? 우리의 추정은 용수속의 탄산염들이(표 2참조) 연화장치에서 중탄산소다와 소다회로 바뀌어 급수되는데다가 청관제의 소다회 함량까지 겹쳐 이들이 보일러 내에서 열 분해하여 탄산가스는 증기와 함께 제거되고 가성소다분은 관수속에 누적된다는 것이었다. 이를 확인하기 위하여 보일러의 물질수지를 아래와 같이 세워보았다.

증기 발생량에 대한 청관제 사용비와 블로우비를 각각 g와 f라하고 특정 성분의 농도를 c로, 샘플개소를 (K~P, 청관제는 Q) 낮은 글자로 표기하면 그림 2의 조업질차로부터 다음의 물질수지식을 얻는다.

$$c_N(1+f) + c_{QG} \approx c_M + c_P f.$$

진단시까지의 상당한 기간동안 청관액을 (g=30ppm) 사용해 온것과 이공식을 이용하여 SO₄, Cl, PO₄, CO₂의 수치로부터 각각 블로우비 f를 구하여 표 5에 보였다.

표 5. 보일러의 블로우비와 각 성분농도의 변화폭

성분	c _M	c _N	c _P	c _Q	f	Δc _P	±Δc _P /2c _P
	ppm				%	ppm	%
SO ₄	1	13	539	0	2.3	110	±10
Cl	2	12	322	0	3.2	101	±16
PO ₄	0.1	0.3	39.0	4.2	3.3	1.8	±3
CO ₂	14.4	18.4	144.0	1.7	3.6	36.8	±13
g=30ppm				평균 f=3.1%		uH/V=9.2의 경우	

운휴중의 보일러를 시동하여 정상상태에 들어가기까지의 관수농도 변화는 그림 4와 같은데 여기에서 변화진폭 Δc_P는 보일러제원과 블로우주기 H로부터 쉽게 구해지며 청관제 첨가량에는 무관하다. (표 5 참조) 보일러에 공급되는 탄산염중에 청관제쪽과 급수쪽간의 비는

$$c_{QG} : c_N(1+f) = \begin{cases} 3 : 97 \text{ (청관액)} \\ 20 : 80 \text{ (청관가루)} \end{cases}$$

로서 청관가루를 같은 양 쓰는 경우에는 무려 20%의 탄산염이 청관제 쪽에서 오게 된다. 여기에다가 관수속의 PO₄ 농도도 127 ppm으로 높아지는 낭비까지 따른

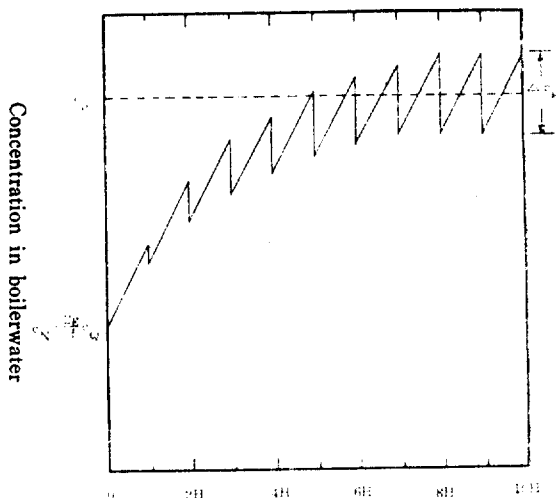


Figure 4. Boiler start-up with cyclic blow-downs.

다. 건조기에서의 부식문제는 응축된 증류수의 순도가 높지 않다는 것으로 쉽게 이해되었다. 표 2에서 보는 바와 같이 이물(M2)은 비전도도가 30micro-mho/cm나 되며 pH가 10에 가까와 알칼리에 약한 알루미늄 합금(Al 97%, Mg 3%)을 쉽게 침식할 수 있었고 더욱이 금속부가 물에 잠겼다가 고온의 새 증기에 건조되어 표면의 알칼리 분이 농축되는 동작이 반복되는 때문에 심한 핏팅과 전면부식이 가속적으로 일어났던 것이다.

응축수의 오염 원인은 보일러 쪽에서 밖에 찾을 수 없었는데 다른 공정중에는 알칼리원이 드물기도 하거나와 각 성분의 농도와 pH로 보아 대략 보일러 관수가 10~50 배 희석된 경우에 해당하는 때문이다. 이는 보일러 관수가 증기에 섞여 나오는(carry-over) 때문이며 보일러에 이를 방지하는 설비가 되어 있지 않거나 기능을 발휘하지 못하는 것임을 나타낸다. 건조설비의 최초 설계자가 건조설비에 대한 보일러 캐리오버의 위험을 강조하였다면 많은 손실을 면할수 있었을 것이고 운전중에 응축수의 pH를 적절히 점검 했더라도 인제기 파악할수 있는 일이었다. 샘플 분석과 기술정보의 수집 단계에서 본 연구실 외부의 허다한 협조를 받았는데 우선 현장 연구실과 생산과, 공무과의 도움이 컸고 본 연구소의 분석실(습식 및 기기), 재료시험실과 도서실, 국립공업 연구소의 도서실, 공업진흥청의

기술정보센터, 한국과학기술정보센터등의 역할이 컸다.

(3) 대책 수립과 대인관계

보일러 관수의 지나친 가성화를 방지하는 수단으로 가장 손쉬운 것은 우선 소다회(가) 섞이지 않은 청관제를 사용하는 방안이다. 보일러내에서의 CO₂ 발생속도는 관수중의 CO₂ 농도에 비례한다는 가정하에 같은 청관제를 사용하여 PO₄ 농도를 현재의 39 ppm 선에서 유지하려면 CO₂ 수지가 받는 제약은

$$g \approx 0.0009f, (1+10f)c_M = (1+f)c_N.$$

이보다 원천적 대책은 물론 응수치리에 의해 탄산염을 제거하는 방법이지만 증소보일러에서는 대체로 비경제적이므로 이를 그대로 두고 ($c_N \approx 18.4$ ppm) 블로우비 f 만 조절하는 경우, 그림 5와 같은 예측을 할수있다. 관수의 가성화 반응속도는 CO₂ 생산량에 비례하므로 블로우비를 높여 가성화를 낮추는 효과를 쉽게 판단할수 있다.

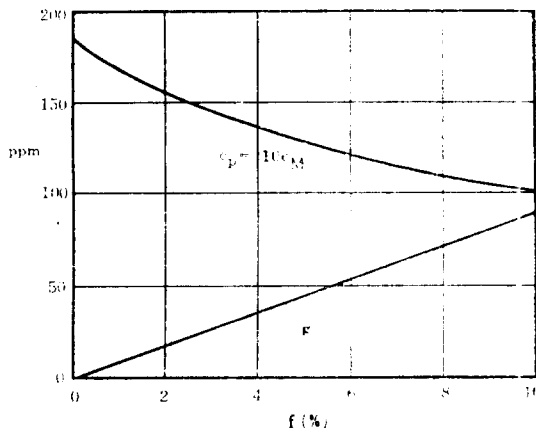


Figure 5. Control of carbonates in boiler water by varying the blow rate.

이러한 계산을 통해 강조되는 것은 청관제의 정확한 성분을 알고 계산된 양을 계획적으로 사용해야겠다는 점이다. 이밖에 보일러 운전개시후 정상상태에 빨리 도달하려면 (그림 4 참조) 처음부터 충분한 양의 청관제를 투입할 것과 보일러 운휴절차의 개선등이 검토되었다. 건조설비의 부식문제는 이미 구조를 대폭변경하여 문제되는 재료를 제거한 후이므로 일단 해결된 것이었으나 일찌기 부식원인을 파악하였더라면 관수의 캐리오버를 보일러 쪽에서 막아 값비싼 구조 변경을 피할수 있었으리라는 점이 강조되었다. 건조 설비 개조시에 알루미늄 합금 대신에 보통 탄소강을 사용하였으므로 이제는 응축수의 알칼리성이 오히려 방실효과

를 내고 있음도 흥미있는 일이다. 그러나 케리오버는 보일러에 따라 정도차가 있게 마련이고 일정하게 계속 되는 현상이 아니므로 응축수의 계속적 분석을 통한 보일러별 상태 파악이 방식 대책에 포함되었다. 한편 케리오버되는 관수축의 고형물이 건조기의 부속 받브 등에서 탈생을 일으킬 우려가 있다는 지적이 따랐다. 최종 보고서가 제출된 2주일후에 공장측의 경영진, 기술진과 진단반이 함께 모여 종합적 평가와 질의 응답을 가졌던바 현장 기술진에서는 공정전체로서의 대체재료 문제와 조업절차의 변경제외들에 대해 많은 의문점을 지적하여 토의되었고 보일러와 건조설비의 방식 대책에 대하여 많은 의견일치가 있었다. 부식진단 과정에서 현장 기술진과 공동작업을 하기로 노력을 기울였으나 너무 짧았던 기일에 쫓겨 각종 문제해결의 진도와 방식 대책등의 협의에 충분한 시간을 기울이지 못해 일방적 통고후의 검토가 되어버린 느낌이 있었다. 경영진의 종합적 결론은 이와같은 전반적 진단은 처음이라 문제의 윤곽과 방향이 제시된 것이 첫째가는 소득이 아니겠는가 하는 것이었다.

4. 결 론

우리나라 화학공장의 부식진단에서 크게 문제되는 것

은 생산기술의 해외 의존도로 인한 기초데이터의 미비와 인원, 시간, 경비및 재료선택상의 각종 제약이다. 위에 제시한 일반론과 진단예에서 찾아볼 수 있는 가장 중요한 요소는 역시 "사람"이다. 부식진단 자체가 객관적 진리탐구라기 보다는 편견, 진단반과 현장요원간의 협조, 주어진 요원의 자격과 지원설비등의 범위 내에서 현실적 방식대책이라는 제한된 목표를 추구하는 주관성이 강한 업무라는 것이다. 부식진단의 전문 기술로서의 확립과 국내수준의 빠른 향상을 도모하려면 작은 경험이라도 서로 내어 놓아 검토하고 비판하며 문제점을 토의하는 것이 지금 단계에서 할수 있는 최선의 길이 아닐가 한다.

문 헌

1. H. H. Unlig (ed.), "The Corrosion Handbook," John Wiley & Sons (New York, 1966).
2. "Betz Handbook of Industrial Water Conditioning, 6th Ed.," Betz Labs. (Philadelphia, 1962).
3. M. Henthorne, "Fundamentals of Corrosion (A Refresher Series in 12Parts)," Chemical Engineering, May 1971-April 1972. (부식학회지에 번역전재 되었음).