

EURI AZIDOAREN ERAGINA HARRIZKO MONUMENTUETAN

Arantxa Unanue

EURI azidoaren fenomeno eta ondorioak, gero eta garrantzi handiagoa hartzen ari dira azken urteotan.

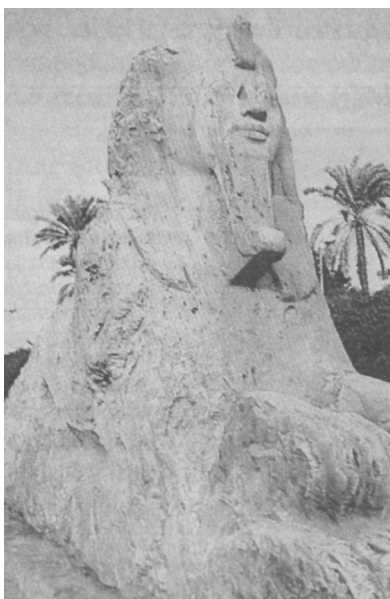
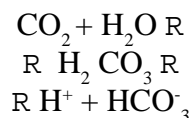
Poluzio-maila handitzen ari den neurrian, arazo konplexu honek ondorio kontrolaezinak edo kontrolagaitzak dakartza gure mundura, askotan itzulgarriak badira ere. Irtenbide errazik ez dago, baina beharrezkoa eta premiazkoa da zerbait egitea beranduegi izan baino lehen, edo, zoritxarrez, berandu samar bada ere.

Askotan hitz egin eta idatzi izan da euri azidoak naturan (basoetan, ...) egiten duen kalteari buruz. Oraingo honetan, eragin bitxi batez hitz egingo dugu: harrizko

monumentuei egiten zaienari buruz alegia, zenbait adibide erakusgarri aipatuz. Baina lehenik, euri azidoa zertan datzan ikus dezagun.

Zer da euri azidoa?

Atmosferan dagoen CO_2 -a dela eta, euria berez zertxobait azidoa da. CO_2 edo karbono(IV) oxidoaren iturriak naturalak eta antropogenikoak dira (materia organikoaren degradazioa, konbustioa, ...). Uretan disolbatzen denean, honako erreakzioa gertatzen da:

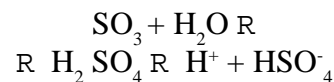


Antzinako monumentu asko kalte handiagoak jasan dituzte azken urteotan milaka urtetan baino euri azidoaren ondorioz.

Sorturiko azido karbonikoagatik, euri naturalaren pH-a 5,6koa da gutxi gorabehera ($\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$).

Bestalde, industria eta hiriguneetan batez ere, beste zenbait gas azido ere sortzen da, sulfre- eta nitrogeno-oxidoak garrantzitsuenak direlarik; hauetatik SO_2 -a (sufre(IV) oxidoa) eta NO_x -ak (nitrogeno(IV) eta (II) oxidoak) dira poluitzaile handienak. SO_2 -aren iturri naturala SH_2 -aren oxidazioa da (SH_2 -ak iturri biogenikoa du), eta iturri antropogenikoa konbustioa da batez ere, bi iturrien garrantzia berdintsua izanik. NO_x oxidoei dagokienez, iturri naturala badute ere iturri antropogenikoa da garrantzitsuen (konbustioa batipat).

Sufre(IV) oxidoa (SO_2), sulfre(VI) oxidora (SO_3) oxida daiteke; erreakzio hau airean dagoen oxigeno eta ozonoari esker gertatzen da, eta airearen poluitzaile-partikuletan dagoen zenbait substantzia metalikok katalizatua izaten da. Sufre trioxidoa (edo sulfre(VI) oxidoa) uretan disolbatzen denez, azido sulfuriko bihurtu daiteke, honako erreakzioa dela medio:



Euriaren pH-a SO_3 -aren kontzentrazioaren araberakoa da (alderantziz proportzionala), eta batez ere trafiko handiko hiriguneetan, eta industriguneetan sortzen da, lehenago aipatu den bezala. Euria ari duela airearen pH-a aldatu egiten da. Hasieran, SO_3 -aren kontzentrazioa maximoa da (pH baxuena). $\text{pH}=3$ balioa neurtu ahal izan da, eta horrek euri normalarekin konparatuz protoien kontzentrazioa %100 handitzen dela esan nahi du.

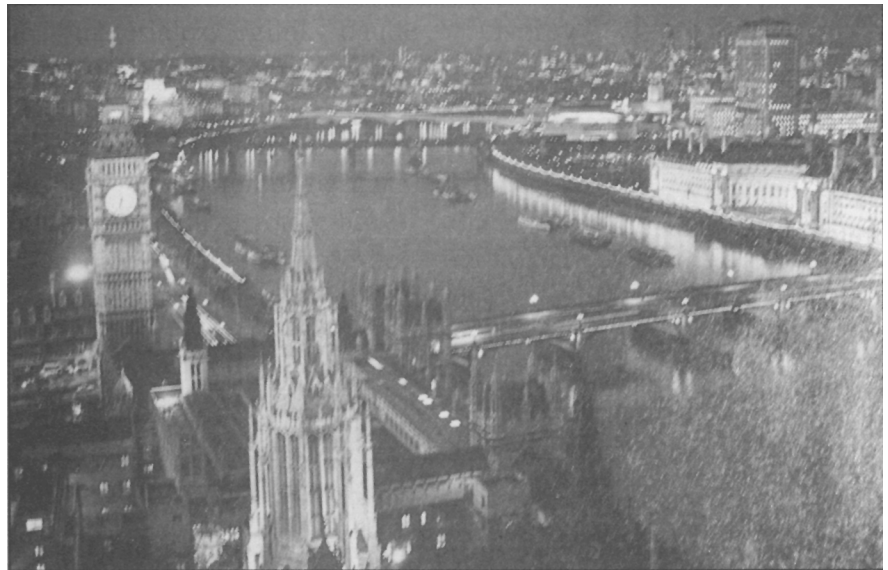
Erreakzio berdintsuak idatz daitezke nitrogeno-oxidoetarako, baina geroago azalduko denez, harrizko monumentuetan eragin handiena duena H_2SO_4 -a da.

Sarrera hau bukatzeko, deposizio azidoaren arazoa ez dela eurian bakarrik azaltzen esan daiteke. Gaur egun bi atal bereizten dira: alde batetik, *deposizio lehorrera*, hau da, partikulak eta gasak (aerosolak, metalak, SO_4 , SO_2 , ...) eta bestalde *deposizio hezea*, non euriaz gain elurra, ihintza, lainoa eta kazkabarra ere sar daitezkeen. Azken hauen eragina ez da makala; lainoetan $\text{pH} = 1$ neurtu ahal izan bait da.

Zein materialez eraiki izan dira monumentuak?

Gehienetan erabili ohi diren harriak hauexek dira: marmola, kararria, harearria eta granittoa.

Marmola, kaltzitazko kristal-txoez osaturiko kararrizko harri bat da; kaltzita, termodinamikoki egonkorra den forma minerala da. Marmola harri metamorfikoa da; tenperatura eta presio handietan birkristaltze-prozesu bat jasaten du harri sedimentario (kararri ize-nekoa) bihurtuz. Kimikoki, marmola eta kararria berdinak dira,



Londres-eko lainoa euri azidoa zenez kalte handiak eragin zituen bertako monumentuetan.

baina morfologikoki kristalen neurrian eta porotasunean desberdintzen dira. Kararriaren kristaltxoak txikiagoak direnez, harri hau marmola biano porotsuagoa da.

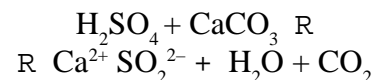
Harearria, monumentuetan baino gehiago edifizioak eraikitzeko erabili ohi da. Harri hau, harealez osaturiko harri sedimentarioa da. Harealez hauen sedimentazioa kuartzo ala kararrizko harri eran gerta daiteke.

Granittoa hiru mineralez osaturik dago batez ere: kuartzo, mika eta feldespatoz. Granittoaren aleak oro har handi samarrak dira, eta bere porotasuna oso txikia denez, material hau sarritan erabiltzen da edifizioen beheko aldeak hezetasunetik babesteko.

Euri azidoaren eragina harrietan

Euri azidoaren eraginez errazen kaltetzen diren monumentuak kararrizkoak dira: marmola, kararria, eta kararrizko harearria. Euri azidoak ez die harearri puruei eta granitoei erasotzen.

Kararrizko harri baten eta euri azidoaren arteko erreakzioa era sinplifikatu honetan adieraz daiteke:



Kaltzitzen disoluzioa kontrolatzen duten mekanismoak zenbait baldintzen menpe daude: pH-aren, fluxu hidrodinamikoaren, etab.en menpe. Gai honetan, pH-aren tarte interesgarria 4-6 da, garraioz eta gainazal-zinetikaz kontrolatua izanik.

Ezaugarri bat azpimarratu behar da: kaltzio karbonatoaren disoluzio kimikoaren eraginez sorturiko kaltea, gainazal-fenomenoa da batez ere. Hau dela eta, gainazaletan landutako erliebeak izugarri hondatuak gera daitezke gainazaleko disoluzioaz, marmolaren azpiko egitura kaltetzen ez delarik.

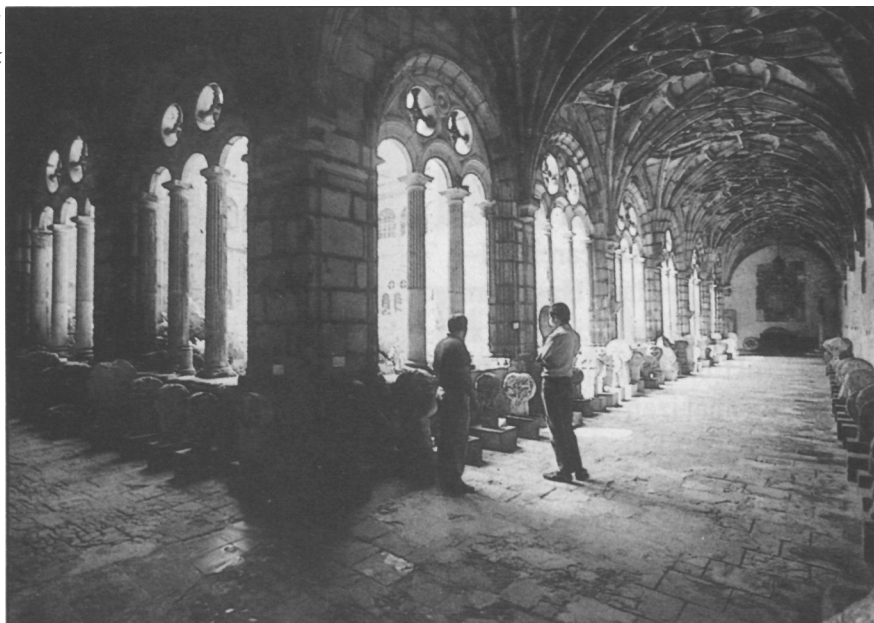
Monumentuen hondamenaren arazoa ez datza kaltzitzen disoluzioan bakarrik. Aurreko ekuazioan ikus daitekeenez, harrietako kaltzio karbonatoak erreakzionatu egiten du kaltzio sulfatoa ager-

Gure herriko monumentuak ere euri azidoaren arriskuan daude, kostaldekoak batez ere. Donostiako San Telmo museoa.

tuz. Konposatu hau kristaliza daiteke gatz-dihidrato moduan: $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ (igeltsua). Igeltsua uretan nahikoa disolbagarria da. Beraz, ur-fluxu zuzenik ez daukaten eta erreakzionatu duten gainazaletan bakarrik metatzen da. Horregatik, kararrizko edifizioek eta marmolezko estatuek igeltso-geruza bat dute eurtik babestutako lekuetan. Kutsatutako airearen eraginez (hautsa, ikatz-partikulak, ...), igeltso-geruza hau belztu egiten da. Ingurune honetan urteak pasatu ondoren, kararrizko harriek itxura zuri-beltz nabarmena azaltzen dute; zuria, euriak igeltsoa erregulariki garbitzen duen lekuetan, eta beltza euriak garbitu ezin duen lekuetan, non igeltso-geruza ilunak deposizio lehorra itsatsi duen.

Lehenago aipatu den bezala, euri azidoak harearriko eta granitozko gainazaletan ez du erreakzionatzen. Hala ere, deposizio lehorra itsasten da kolore beltz uniforme sortez.

Sulfato- eta nitrato-gatz disolbagarriak (euri azidoa eta kararrizko harrien arteko erreakzioan sortuak), euri-ur berean disolbatzen dira. Disoluzio hau harriak xurgatzen du mekanismo kapilare baten bidez. Harria lehortzen denean gatz horiek kristaldu egiten dira sistema porotsu horretan. Prozesu honetan sorturiko presioa nahikoa da harriaren matrizea mekanikoki apurtzeko. Beraz, harri baten porotasunak barnera daitekeen disoluzio-kantitatea kontrolatzen du, eta azken finean harriaren iraupen-denbora ere bai. Ekin-tza mekaniko honek eragindako kaltea, harriaren disoluzio kimiko



hutsarena baino serioagoa izan daiteke.

Zenbait adibide

Schenectady-ko (N.Y.) udal-txea, edifizio historikoa, 1930. urtean eraiki zen Vermont-eko marmolik onena erabiliz (Italiako Carrara-ko marmolaren parekoa da). Ia erori egin da euri azidoaren eraginez. Edifizioaren egitura ahuldu egin da, marmola igeltso bihurtzearen ondorioz.

Pekin-en (Txinan), badaude inperioaren historia kontatzen duten 500 urteko marmolezko monumentuak. Orain dela 40 urtera arte, inskripzioak irakur zitezkeen eta gaur egun ezin dira irakurri. Horrek, kaltea batez ere azken urte hauetan egin dela esan nahi du.

Erroman dauden Marcus Aurelius eta Traianus enperadore erromatarren marmolezko zutabeetan fenomeno bitxia ikus daiteke, lehenago aipatu denez. Zutabeetan espiralki landutako baxu-erliebeek, enperadore hauen konkistak errepresentatzen dituzte. Zenbait lekutan, zutabe hauek zuzenki jasaten dute beren gainean

euri-uraren fluxua eta azaldutako kaltea izugarri aldatzen da marmolaren disoluzio kimikoa kontrolatzen duten faktoreen arabera. Beste lekuetan, inguruko edifizioen babesa dela eta, gainazalak egoera onean irauten du, nahiz eta zutabea 1800 urte lehenago eraikia izan.

Ondorioak

Kararrizko harrien hondamena, batez ere bi mekanismoren bidez gertatzen da.

1. Kaltzitzen disoluzio kimikoaz
2. Disoluzioan sorturiko gatz disolbagarriak harriaren poroetan birkristaltzerakoan sorturiko kalte mekanikoaz.

Lehenengo mekanismoa garrantzitsua da eskulturatan gainazaleko xehetasunak zaindu nahi direnean. Bigarren mekanismoak, aldiz, harriaren hondamen estrukturalan eragin handia izan dezake. Zaila da mekanismo bakoitzaren eragina estatua edo monumentu baten hondamenean bereiztea. ■