

SUPERKONDENTSADOREAK

Etorkizuneko energia-metagailuak

JOSE MIGUEL CAMPILLO

LAURA OCA

JON ANDONI BARRENA

Energia Metatzeko Sistemen ikerketa-taldea,
Mondragon Goi Eskola Politeknikoa,
Mondragon Unibertsitatea

ARG.: ©DOLLARPHOTOCLUB/ZHU DIFENG

Parisko klimaren goi-bileran ikusi zen moduan, jadanik ia inork ez du ukatzen beroketa globala gertatzen ari denik. Horrek argi adierazten du ingurumenarekiko kezka etengabe handitzen ari dela gure gizartean. Zoritxarrez, munduko baliabide natural mugatuen ustiaketa basatiak aurrera darrai. Adituek diotenez, hamarkada honetan gaindituko dugu petrolioaren gailurra, jadanik gainditu ez badugu. Hau da, une honetan, petrolioaren mundu mailako erauzketa bere maximoaren inguruan dago [1]; hemendik aurrera, petrolioaren erauzketa txikituz joango da. Hortaz, hurrengo belau-naldietarako etorkizun ilunik ez badugu nahi, ezinbestez aldatu behar dugu energia-eredua. Energia-iturri garbiek ordezkatu behar dituzte erregai fosilak.

Gauzak horrela, etorkizunean, erregai fosilak baztertuta, handitu egingo da elektrizitatearen erabilera. Aldaketa horrek abantai-

lak izango ditu, eta ez soilik ingurumenaren ikuspegitik, baita kostu, segurtasun eta eraginkortasunaren aldetik ere. Hortaz, aldaketa garrantzitsuak datoz energia-ereduan (ekoizpena-banaketa-erabilera). Tamalez, arazo bat dago. Elektrizitatea sortzea nahiko erraza bada ere, ez da hain erraza eraginkor ki gordetzea. Egia esateko, azken urteetan, baterietan eta bestelako energia-metagailuetan aurrerapenak egin badira ere, ez dira nahikoak izan datozkigun beharrak asetzeko. Izan ere, metagailu berriak behar ditugu, garbiagoak eta potentzia handiagokoak.

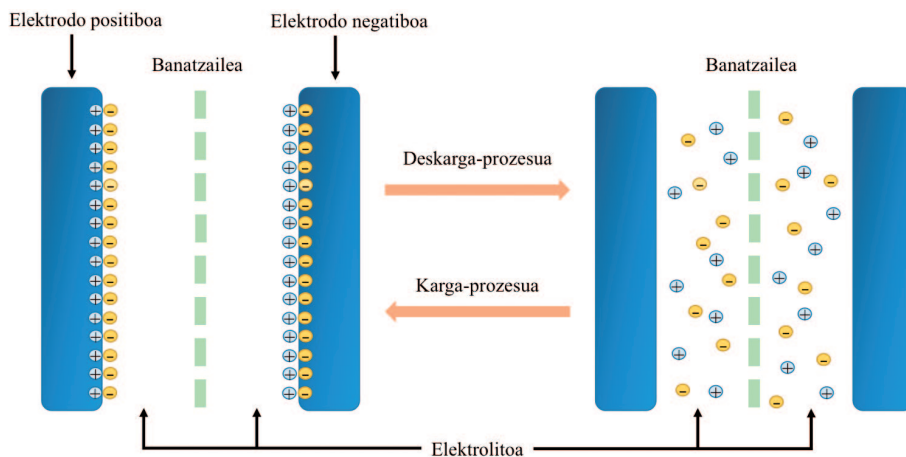
SUPERKONDENTSADOREAK

Testuinguru honetan, azpimarratzekoa da aspalditik erabiltzen diren superkondentsadoreetan* azken urteotan izan den garapena. Izan ere, superkondentsadoreak, orain arte, potentzia handiko aplikazioetan erabili izan dira, gehienbat. Baina beste aplikazio ba-

tzuetarako ere oso interesgarriak izan daitezke, abantaila tekniko asko dituztelako [2]: potentzia-dentsitate handia, karga- eta deskarga-prozesu azkarrak, tenperatura-tarte zabalean erabiltzeko gaitasuna, lan-bizitza oso luzea eta mantentze-lanik gabekoa.

Superkondentsadoreek, bateriek bezala, karga pilatu eta transferitzen dute energia metatzeko eta askatzeko prozesuetan. Baterien kasuan, karga- eta deskarga-prozesuetan erreakzio kimikoak gertatzen dira. Zoritxarrez, prozesu kimikoak ez dira guztiz itzulgarriak, eta denborarekin bateriak degradatuz joaten dira, eta haien bizitza laburtzen da. Superkondentsadoreen karga- eta deskarga-prozesuak, aldiz, efektu fisiko bati esker gertatzen dira. Elektrodo-elektrolito faseartekoan, aurkako zeinuko karga-banaketa bi ageri dira (ikus 1. irudia), geruza bikoitza deiturikoa (ingelesez, *double layer*). Hermann von Helmholtz zientzialari alema-

* Hizkera teknikoan superkondentsadoreei ingelesez *Electrochemical Double Layer Capacitor* deritze, EDLC. Hala ere, terminologian nahasmen handia dago, modu desberdinetan izendatzen direlako: *ultracapacitors*, *electrochemical capacitors*, *boostcaps*, *goldcaps* eta abar.



1. irudia. Geruza bikoitzeko superkondentsadore baten funtzionamendua.

	Litio-ioi bateria	Superkondentsadorea	Superkondentsadore hibridoa
Bizitza (lan-zikloak)	Laburra 100 – 1.000	Oso luzea 100.000 – milioiak	Erdizkakoa 10.000 – 100.000
Energia-dentsitatea (Wh/L)	300 – 600	1 – 5 (Ohiko kondentsadoreak baino 1.000 aldiz gehiago)	20 – 40 (berun-azido bateriaren neurrikoa)
Lan-tentsioa (V)	3,2 – 4,5	0 – 2,7	2,5 – 4,0
Potentzia maximoa deskargan (kW/L)	Txikia << 0,1 Neurrigabe berotzeko arriskua Suharbera	Oso handia Neurrigabe berotzeko arriskurik ez	Erdizkakotik handira ~ 1 Neurrigabe berotzeko arriskurik ez
Autodeskarga-korrontea (mA)	< 5	< 5.000	< 10

1. taula. Hiru metagailuren arteko alderaketa.

niarrak geruza bikoitzeko kapazitatea deskribatu zuen, lehenengo aldiz, 1853an. Efectu hori itzulgarria da, eta erreakzio kimikoak baino askoz azkarrago gertatzen da. Hori dela eta, superkondentsadoreak oso azkar kargatu eta deskargatu daitezke. Gainera, ez dira degradatzen, eta, horregatik, oso lan-bizitza luzea dute.

Zoritxarrez, bateriekin alderatuz gero, superkondentsadoreen energia-dentsitatea txikia da. Hau da, metagailuaren pisu bererako karga gutxiago pilatzen dute (ikus 1. taula). Berez, superkondentsadoreetako energia-metaketa beren kapazitatearekiko proportzionala da; eta hori elektrodoen gainazalaren azalerarekiko proportzionala da [3]. Hain zuzen ere, kargak gainazalean eransten dira. Horregatik, zenbat eta azalera handiagoa izan, orduan eta karga gehiago pilatzeko gaitasuna izango du. Beraz, superkondentsadoreen energia-dentsitatea handitzeko, elektrodoen gainazalaren azalera handitu behar da. Gainera, elektrodoen gainazalaren azale-

rak korronte elektrikoa garraiatzeko gaitasuna ere mugatzen du, eta, hala, superkondentsadoreak eman dezakeen potentzia maximoa ere mugatzen du. Hortaz, azalera handitzeak beste abantaila bat dauka, potentzia handitzea.

NANOMATERIALAK

Azken urteotan, nanomaterialak erabiltzen ari dira superkondentsadoreen energia-dentsitatea handitzeko. Nanomaterialen egitura mikroskopikoak elektrodoen gainazalaren azalera handitzen du, eta, horri esker, superkondentsadoreek karga gehiago pilatu dezakete. Orain arteko superkondentsadoreen bi elektrodoetan ikatz aktibatua erabili izan da. Ikatx aktibatua material amorfoa da, oso porotsua. Horren ordez, nanomaterialak erabiltzen hasi dira [4], adibidez: karbono-nanohodiak, grafenoan oinarritutako elektrodoak, karburoetatik eratorritako ikatza (ingelesez, *Carbide-Derived Carbon*, CDC), eta abar.

Karbono-nanohodiak karbono-atomoz osaturik daude. Karbono-atomoek hexagonoak eratzen dituzte, beren arteko loturen eraginez. Horrela, horma bakarreko karbono-nanohodietan, karbono-atomoen hexagonoek hodiaren gainazala eratzen dute, eta nanometro bateko diametroko hodiak lortzen dira. Holako nanohodiak bertikalki lerrokatuta jartzen baditugu, elektrodoaren ezaugarri fisikoak dezente hobetzen dira, ikatz aktibatua erekin alderatuz gero. Adibidez, elektrodoen gainazalaren azalera handitzea lortzen da.

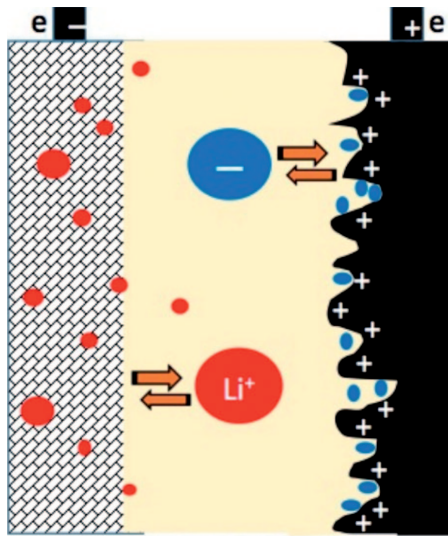
Grafenoak karbono-nanohodien antzeko egitura dauka, baina karbono-atomoen geruza lau bat da. Grafenoan, karbono-atomoak abaraska-sare baten moduan lotuta daude, plano batean. Karbono-nanohodien eta grafenoaren erabilpenaren arazo nagusia da garestiak direla, haiek ekoiztea konplexua baita.

SUPERKONDENTSADORE HIBRIDOAK

Gizartearen beharrak bultzatuta, elektrodoetarako material berrien bila dabilta ikertzaileak. Ikusi dugunez, nanomaterialak erabiltzea da aukeretako bat, baina, ez da aukera bakarra. Ohiko ikatz aktibatuzko elektrodo bat ordezkatu daiteke baterietako elektrodo bat jarriz. Hau da, superkondentsadoreetan erabiltzen den ohiko elektrodo bat eta baterietan erabiltzen den beste elektrodo bat erabiltzen hasi dira, metagailu berri bat sortzeko. Horrelako metagailuei superkondentsadore hibrido edo superkondentsadore asimetrico esaten zaie [5].

Zientzialariak hainbat kimika erabiltzen ari dira, superkondentsadore hibridoen baterietako elektrodoak sortzeko [6]. Horien bidez lortu dute superkondentsadore hibridoen energia-dentsitatea handiagoa izatea, eta, horren ondorioz, metagailu txikiagoak eraiki daitezke. Orain arte lorturiko konposizio kimikoen artean hauek dira aipagarriak: nikel hidroxido nanoporotsua eta ikatz aktibatua; grafito geruzetatik lortzen den laser-marrazketa bidezko grafenoa (ingelesez, *Laser-Scribing Graphene*, LSG) eta manganeso dioxidoa; kristal likidozko moldearen teknologiaren bitartez sorturiko metal oxido nanoporotsua; rutenio oxido dopatua; eta, azkenik, litioz dopatuta dagoen ikatzean oinarritutako materiala. Azken kimika hori da merkatuan gehien zabaldu dena, eta adituek litio-ioi kondentsadore gisa ezagutzen dituzte (ingelesez, *Lithium-Ion Capacitors*, LIC).

LIC delako superkondentsadore hibridoetan, elektrodoetako bat ohiko superkondentsadore baten modukoa da, ikatz aktibatuzkoa. Elektrodo hori katodoa da (elektrodo



Ikatz gogorra Elektrolitoa/banatzaila Ikatz aktibatua

2. irudia. Superkondentsadore hibridoaren egitura eta funtzionamendua.

positibo), eta elektrolitoaren ioiak harrapatzen eta askatzen ditu karga- eta deskarga-prozesuetan (ikus 2. irudia). Beste elektrodoak, berriz, anodoa da (elektrodo negatiboa), eta litio-ioi bateria baten moduko elektrodoak da, litioz aurreopaturako ikatz gogorrez eratua. Elektrodo horretan, elektrolitoko litiozko ioiak xurgatzen eta askatzen dira karga- eta deskarga-prozesuetan. Anodo litiatuaren erabilerak energia-dentsitatea handitzen du, metagailuaren lan-tentsioa handituz. Hala ere, metagailuaren karga- eta deskarga-ezauzgarriak ohiko superkondentsadore baten antzekoak dira. Baina LIC superkondentsadore hibridoaren energia-dentsitatea ohiko superkondentsadore batena baino 5-7 aldiz handiagoa da. Abantaila handia da hori, edozein erabilerarako tamaina txikiagoko metagailuak erabiltzeko aukera ematen baitu.

Bestalde, LIC superkondentsadoreek ez daukate litio-ioi baterietan ageri diren arazoak. Adibidez, LICetako karga- eta deskarga-prozesuetan ez denez litio metalaren de-

posizioz gertatzen, ez dira dendritak sortzen, eta, ondorioz, ez dago zirkuitu laburrak sortzeko arriskurik. Superkondentsadore hibridoak ohiko kondentsadore baten moduan jokatzen du karga- eta deskarga-prozesuetan. Izan ere, elektrolitoaren ioiak elektrodoek sorturiko eremu elektrikoan mugitzen dira, bertan sartuz eta ateraz, baina baterietan gertatzen diren erredox erreazioak gertatu gabe. Superkondentsadorearen tentsioaren jokaeran geratzen da hori agerian. Bateria baten karga- eta deskarga-prozesuetan tentsioa oso gutxi aldatzen da; superkondentsadore baten tentsioa, berriz, karga-prozesuan handitzen da, eta deskargan txikitzen. Horrez guztiaz gainera, LICetan ampere-kopuru eta tentsio handiak jaso daitezke arriskurik gabe. Horri esker, litio metala ez da elektrodoetan ezarriko. Litio-ioi baterien karga- eta deskarga-prozesu azkarretan, barnealdean ezartzen da litio metala, erredox erreazioen ondorioz. Horrek eragin dezake neurrigabe berotzea eta gelaxkaren barruko tentsioa handitzea, eta muturreko kasuetan, suak eta leherketak gertatu daitezke. Beraz, litio-ioi bateriek dituzten arriskuak saihesten dituzte superkondentsadoreek.

FORMA-FAKTOREA ETA ETORKIZUNA

Merkatuan dauden superkondentsadoreen ohiko forma zilindrikoa da (ikus 3. irudia), edo bestela, txanpon baten modukoa (ingelesez, *coin cell*). Hori arazo izan liteke, azken finean forma horretako superkondentsadoreak ezin direlako aplikazio askotan erabili. Hori dela eta, ekoizleak superkondentsadore lauak merkaturatzen hasi dira bateriak erabiltzen dituzten aplikazioetan poliki-poliki sartzeko. Horrelakoak dira *pouch* motakoak edo prismatikoak. Txikikeria ematen badu ere, energia-metagailuen forma eta dimentsioak oso garrantzitsuak dira aplikazioetan hedatzeko. Forma lau txiki batekin, superkondentsadore berriak erabili ahal izango dira, gaur egungo superkondensa-

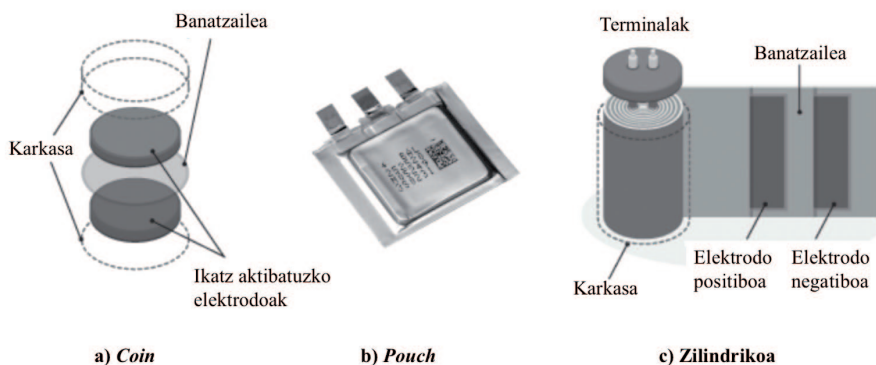
doreak erabili ezin diren eremuetan. Gainera, horrek badu beste abantaila bat: bateriak ekoizteko lerroetan fabrikatu daitezke gelaxka lauak, eta, hala, ekoizpen-kostuak txikitzen dira. Azkenik, gelaxka lauak hobeto paketatuta daitezke, eta horrek energia-dentsitatea handitzen du eta kostuak txikitu. Superkondentsadoreak ez direnez behar baino gehiago berotzen, litio-ioi bateriak baino askoz modu eraginkorragoan paketatuta daitezke. Azken finean, ez dute hozte-sistemarik behar, ezta bateriak kudeatzeko elektronikarik ere (ingelesez, *Battery Management System*, BMS).

Bestalde, superkondentsadore batean, osagaiei dagokie prezioaren zatirik handiena, eta elektrodoak dira horien artean garestienak. Baina, gertatzen ari diren berrikuntza guztien ondorioz, superkondentsadoreak gero eta gehiago ari dira erabiltzen. Eta, noski, ekoizpena handitzen den neurrian, metagailuen prezioak jaisten ari dira. Prezioak jaistarekin batera, asko zabalduko da haien erabilera-eremua, orain arte pentsaezinak ziren esparruetan hedatu arte.

Amaitzeko, energia-dentsitatea eta tamaina/kostua erlazioa hobetzen badira, superkondentsadore berritzaile horien aplikazio-aukera inoiz baino zabalagoa izango da, eta energia garbiago baterako jautzia erraza egin ahal izango da. Superkondentsadore txikiagoek tresna elektronikoko txikiak elika ditzakete, eta baita soinean eramateko gailuak ere. Baina artikuluko honen helburua ez da superkondentsadoreen aplikazio-eremuez hitz egitea. Hori beste baterako utziko dugu. ●

ERREFERENTZIAK

- [1] GATES, J. E.; TRAUER, D. L.; CZECH, B.: *Peak oil, economic growth and wildlife conservation*, Springer (2014).
- [2] Miller, John M.: *Ultracapacitor Applications, Power and Energy Series 59*, The Institution of Engineering and Technology, London (2011).
- [3] GONZÁLEZ, A.; GOIKOLEA, E.; BARRENA, J. A.; MYSYK, R.: "Review on supercapacitors: Technologies and materials". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **58** (2016) 1189-1206.
- [4] LI, J.; CHENG, X.; SHASHURIN, A.; KEIDAR, M.: "Review of Electrochemical Capacitors Based on Carbon Nanotubes and Graphene". *Graphene* **1** (2012) 1-13.
- [5] DUBAL, D. P.; AYYAD, O.; RUIZ, V.; GÓMEZ-ROMERO, P.: "Hybrid energy storage: the merging of battery and supercapacitor chemistries". *Chem. Soc. Rev.* **44** (2015) 1777-1790.
- [6] VLAD, A.; SINGH, N.; ROLLAND, J.; MELINTE, S.; AJAYAN, P. M.; GOHY, J.-F.: "Hybrid supercapacitor-battery materials for fast electrochemical charge storage". *Scientific Reports* **4**:4315 (2014) 1-7.



3. irudia. Merkatuan dauden superkondentsadoreen geometriak.