

시스템 설계자를 위한 산업용 리튬전지의 이해와 충전 기술

Ver 0.3

(주)타보스 장택순 작성



2017. 04. 12

www.tabos.co.kr

[화두] 이차전지용 이온물질

1차전지=일회용, 2차전지=충전용

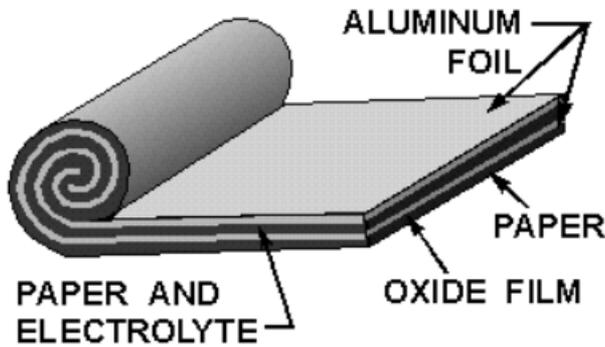


- 알칼리 금속 : 1족 원소
- 원소 번호가 적을 수록 다른 금속보다 금속 결합의 세기가 약하다. 느슨한 결합.
- 원소 번호가 적은 알칼리 금속일수록 배터리 이온금속으로 적합성을 가진다.

이온물질	특징	적용	응용
Li (상용화됨)	가장 활성화가 용이 가장 가볍다 (알칼리 금속 중에서), (수소보다 3배 무거울 정도로 가볍다.) 단점 : 지구상에 특정 국가에만 존재한다. 비싸다.	가볍고, 부피가 작으며 고밀도 축전이 필요한 곳	이동형 배터리
미래물질 Na (상용화안됨)	Li 보다 활성화 정도가 약하다. Li보다 3.7배 (= 11번원소/3번원소) 무겁다. 장점 : 쉽게 구할 수 있는 값싼 원소	Li 원소보다 무겁고,싸지만 에너지 밀도가 낮다.	고정형 배터리

리튬전지는 축전기(Capacitor/Condensor)가 진화된 것

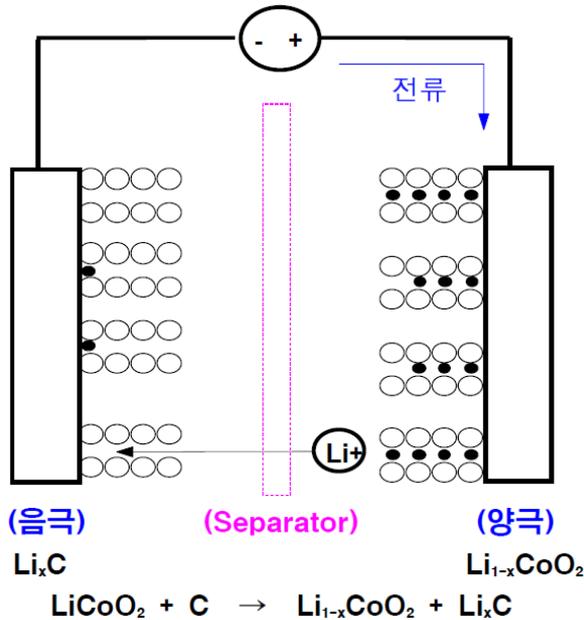
특히 '전해 캐패시터'가 진화된 것 → 그 구조가 아래 구조와 거의 유사하다.



두루마리형



리튬전지(LIB) 양극 활물질 종류별 특징



항목	양극(+)	분리막	음극(-)
기저물질	알루미늄(Al) 박막	폴리에틸렌(PE) 및 폴리프로필렌(PP)을 기반으로 한 합성수지	구리(Cu) 박막
활물질 (활성화 물질)	Co, Ni, Mn, Al, Ti 등을 이용한 화합물 코팅 V, Ti 등 고가 물질 합성을 통한 내구성 향상이 화두.	----- 박막을 이용하되 구멍이 송송 뚫린 일종의 천(Textile) ----- 안정성을 위해 세라믹 등으로 코팅, F(플로우리) 합성수지 등이 현재의 화두.	흑연(C) 천연흑연/인조흑연 ----- 세라믹코팅

분리막 : 양극과 음극이 붙지 못하도록 하면서 유기용매상(일종의기름성분)의 리튬이온이 잘 지나도록 한 재료.

(이상향): 가까운 미래에는 → 전해액이 액체가 아니라 고체형을 추구 → 건전지화: 고온/저온에서 사용가능, 발화성 저감

■ 양극 활물질 종류에 따라 특성이 달라져서 리튬전지 셀 제조시 아래와 같이 분류한다.

LFP계열 ($LiFe_3PO_4$)계열 (인산철) → 일명 리튬인산철 배터리 → 중국에서만 생산 : 지나간 기술,
→ 에너지밀도가 낮고 수명이 짧다. , 한국을 포함 선진국에서는 생산 안함.

NCM 계열 (리튬+니켈+코발트+망간) → LG, 삼성 생산 리튬전지의 대부분을 차지함.

LCO 계열 (리튬 ,코발트, 산화물), **NCA** (리튬,니켈, 코발트 알루미늄) , **LMO** (리튬,망간,산화물), **산화티타늄계열** 등등

주기 : 양극 코팅물질 (활물질)의 조성이 비싼 원소가 들어갈수록 성능이 우수하고 가격이 비싸다고 보면 이해가 쉽습니다.

리튬전지 형상 종류별 특징

리튬이온 캔형은 캐피시터처럼 양극/분리막/음극을 작게 말아서 원통형 강통에 넣고 전해액을 부어 만든 것.
리튬이온 폴리머 파우치형은 크게 말아서 이를 납작하게 찌그르려 봉지에 넣은 것.

구분	특징1	특징2	특징
리튬이온	<ul style="list-style-type: none"> ■ 내압을 가지는 알루미늄 강통(CAN)에 넣은 것 ■ 액체 유기용매 전해질 ■ 일명: 원통형, 캔형, 각형 		<ul style="list-style-type: none"> ■ 대량생산 용이 → 가격저렴. ■ 내압을 가지는 강통에 들어 있어서 부피팽창등에 유리 ■ 원통형이 각형보다 유리
리튬이온 폴리머	<ul style="list-style-type: none"> ■ 알루미늄 봉지(파우치)에 넣은 것 ■ 겔형 유기용매 전해질 ■ 일명: 파우치형, 폴리머형 		<ul style="list-style-type: none"> ■ 얇게 만들 수 있다. 원하는 형상으로 만들 수 있다. ■ 초소용량에서 대용량까지 다양하게 만들 수 있다. ■ 부풀 수 있다. ■ 세계적인 규격화가 어려워 양산이 어려운 점도 있다.

‘리튬이온’형과 ‘리튬(이온)폴리머’형 배터리는 어느 것이 안전하다고 말할 수 없다.
 어떤 제조사가 어떻게 만드느냐에 따라 성능과 안전성에 차이가 있을 수 있다.

(사양서 보기 예) 원통형 리튬전지 - LG화학

■ 배터리의 축전 에너지 단위 (Wh 또는 Ah 및 V) → [참고] 물리학적 환산 : J (주울)

평균전압 3.6V , 3Ah 리튬전지셀 → 3.6V x 3Ah = 10.8Wh ← 10.8Wh x 3,600sec = 38,880 J

$$W = V \times A$$

W = J/sec , J (주울) 은 에너지 단위

$$Wh = J/sec \times 1 \text{ Hour} = J/sec \times 3,600 \text{ sec} = 3,600 \text{ J}$$

10.8Wh의 의미는 → 10.8W 전력을 1시간 사용이 가능하다. → 1.08W의 전력을 10시간 사용 가능하다.



리튬이온셀당 평균전압 = 3.6V ~ 3.7V/Cell

제품군	D X L (mm)	Model	Capacity	Energy	Power	Remark
High Energy	18 x 65	B4	2.6Ah	9.5Wh	5.2A	NCM
“	“	C4	2.85Ah	10.4Wh	5.7A	NCM
“	“	E1	3.2Ah	12Wh	6.4A	LCO
Middle Rate	“	MG1	2.85Ah	10.3Wh	10A	NCM
“	“	MJ1	3.5Ah	12.7Wh		NCM
High Rate	“	HE2	2.5Ah		20A	NCM
“	20 x 65	hg6	3.0Ah		30A	NCM

(사양서 보기 예) 원통형 리튬전지 - LG화학

■ 내부 저항 큰 순서 : High Energy Model (Basic Rate) > Middle Rate > High Rate

[내부 저항이 작으면] → ① 순간적으로 많은 전류를 부하에 공급할 수 있는 능력이 있음.

② 배터리 발열이 적어 고 신뢰성 시스템 구축 가능

③ 가격 상승 요인.

[전압 강하로 인한 배터리전압이 낮아지는 문제]

내부 저항이 높으면 동일한 전류가 흐를 때 더 큰 전압강하가 생김 ($V = I \times R$ 에 의한 전압강하)

예를 들어 모터에 전류를 공급할 때 갑자기 큰 전류가 흐르면 전압강하 V 가 커져 전지 전압이 툭 떨어지게 됨.

즉 배터리 측면에서 저 전압 상태가 되어 모터를 구동할 수 없게 된다.

[내부 저항으로 인한 배터리 발열 문제]

저항 손실량 ($W = I^2 \times R$)에 의해 배터리 온도가 상승하고, 이에 따라 배터리 수명 단축

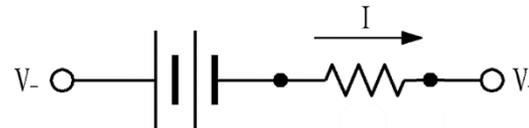
[내부 저항의 변화량을 측정함으로써 배터리가 고장이 났는지, 수명이 저하되었는지 알 수 있다.

배터리는 지속적으로 사용함에 따라 내부 저항이 증가된다.

배터리 내부 저항 측정기를 → ‘배터리테스터’라 부른다. ←배터리 제조 및 품질관리에 사용됨.



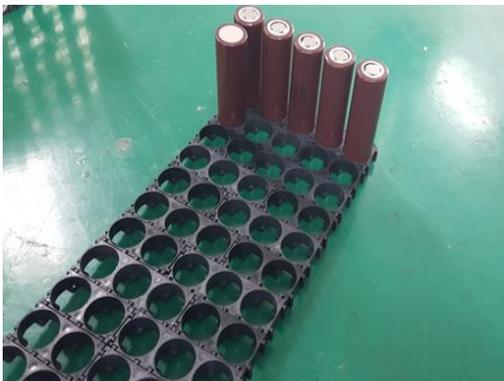
이상적인 전지



실제 전지 (내부 저항 존재)

리튬전지셀(Cell) 적용 이차전지의 산업용 제품 상품화 1

- (주)타보스 제조 기준 - (테슬라 전기차방식 리튬전지팩)



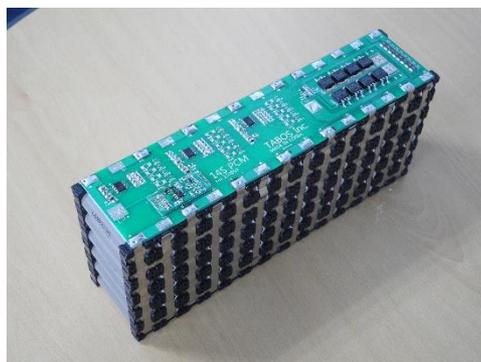
BMS 2 (Battery Management Systems) 보드 장착



(자동 냉각장치 장착 포함)
24V 및 48V 배터리 조립 예



BMS 1 (Battery Management Systems) 보드 장착



BMS는 출력 용량에 따라 좌측 사진과 다른 여러 종류가 있습니다..

좌측 사진은 참고용임.

리튬전지셀(Cell) 적용 이차전지의 산업용 제품 상품화 2

주기 1 : 7S-6P : 셀을 7개를 직렬로 묶고 또 6개를 병렬로 묶는다는 의미 , S (Serial), P(Parallel)

주기 2 : 전압을 높여 사용하면 전류를 줄일 수 있어 유리.

단 산업용은 60V이하의 안전전압사용 요구, 모터 및 각종 제어장치가 60V미만으로 많이 개발되어 설계용이.

■ 24V용 배터리 / 산업용 전기차에서 가장 많이 사용되는 전압

[설계 예] : 요구조건 축전 에너지가 1,700Wh급 이 목표 ,

7S x 6P x 4P (4몽치 병렬 연결) , 리튬전지셀은 2.9Ah/Cell Middle Rate 사용

전압 = 7S x 3.6V = 25.4V, 전류량 = 6P x 4P x 2.9Ah = 69.6Ah

총 에너지 = 25.4V x 70Ah = 1,760Wh

■ 48V용 배터리 / 산업용 전기차에서 2번째로 많이 사용되는 전압

■ 360V용 배터리 / 승용차용 전기차에서 사용되는 최저 전압

20S x 5S 형 : → 100 S x 3.6V/Cell = 약 360V

■ 600~800V용 배터리 / 승용차용 전기차에서 사용 → 차세대 자동차에서 사용

14S x 4S X 4S 형 = 224 S형 : → 224 S x 3.6V/Cell = 약 800V

주기 : 전압을 높이면 전류가 낮아져 전선 두께를 가늘게 할 수 있어서 여러모로 유리

리튬전지셀(Cell) 보호/관리회로

BMS (Battery Management Systems)

주기 : 리튬은 지구상에서 가장 강한 알칼리 금속 (화재 등 안전에 취약) → 보호 관리 목적

안전관리 측면	편의성 향상 측면
<ul style="list-style-type: none"> - 과전압 차단 및 자동복귀 - 저전압 차단 및 자동복귀 - 과전류 차단 및 자동복귀 - 합선 차단 및 자동복귀 - 셀 밸런싱 (다수의 배터리 전압이 일정하게 유지) - 과열 자동차단 - 수명 증가를 위한 냉각장치 - 부하 용량에 따라 회로기판의 전류용량설계, 열설계, 내구성, 안전성, 수명설계 적용.. 	<ul style="list-style-type: none"> - 정확한 잔량의 감지 (SOC / State Of Charge) - 정확한 건강도(수명)의 감지 (SOH / State Of Health) - 충전 예상시간 - 방전 예상시간 - 배터리의 잔량 (Wh, Ah) - 전압 및 전류 정보 (V, A) - 배터리 온도정보 ◇ 배터리 상태 통신포트 → 상위 제어기에 정보전달 : CAN / RS485 / RS422 / RS232C

주기 : 잔량, 건강도는 배터리의 내부저항 및 입출력 전류의 누적 연산, 전압, 온도 등의 정보를 바탕으로 연산.

전기차에의 리튬전지 적용 분석

■ 전기 승용차 리튬전지 적용 비용 / 테슬라 기준

최대 200마력 모터 x 평균부하율 20% x 3시간 연속 주행
 = 200마력 x 750W/마력 x 20% x 3H
 = 90 KWh / 테슬라 모델 중 최고 모델

자동차사 배터리 제조 원가 가격 = 90 KWh x 35만원 / KWh

= 3,150만원 , 현재 2017년 기준 자동차용 대량 양산형 리튬전지 단가 최저 기준

배터리 소비자가격 → 50%~60% Up

= 4,700만원 ~ 5,040만원



본 사진은 이해를 돕기 위한 이미지컷

■ 산업용 무인 반송차 (AGV) 적용 비용

최대 200W 모터 x 평균부하율 30% x 12시간 연속 주행
 = 최소 720 KWh → 안전을 감안 880Wh 적용 / Middle Rate 셀 적용
 (주)타보스 공급가: 880Wh, → 62만원

산업용의 경우 전기차 가격이 리튬전지 가격에 비해 10배 가까이
 높기 때문에 배터리 가격이 문제가 되지 않음.



본 사진은 이해를 돕기 위한 이미지컷

타보스는 S사, H사, L사 등 굴지의 기업에 리튬전지 및 충전기를 공급하고 있으나 고객 정보 보호 차원에서 일반 사진을 첨부합니다.

충전기의 충전 제어 → 정전류(CC) / 정전압제어(CV)

풍선 불때 제어하는 것처럼

정유량(cc)의 공기를 주입하다가

풍선이 터지지 않도록 (일정 압력을 초과하지 않도록) 정격 압력을 유지하면서 (cv) 주입 공기량을 줄이며 마무리 한다.



CC = Constant Current , CV = Constant Voltage

■ 충전기 사양 예시 : 29.4V / 10A → 7s리튬전지 (평균25.4V, 최대 29.4V 배터리용)

■ 의미 :

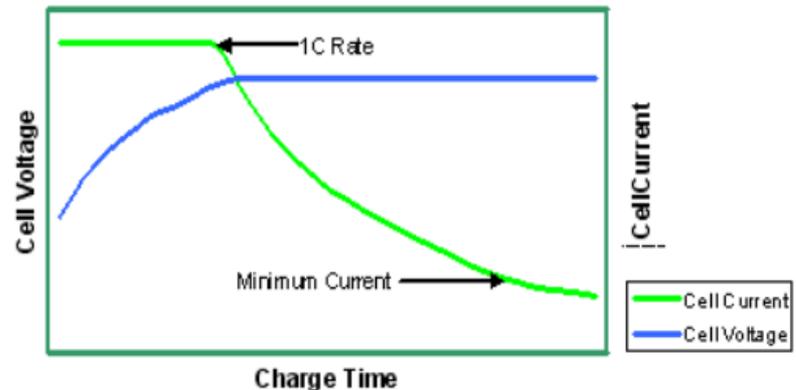
배터리가 비어 있을 때 10A의 전기를 지속적으로 주입하다가 (CC), 배터리 전압이 29.4V 가까이 올라가면 이때부터는 충전 전류를 지속적으로 줄이며 29.4V 넘지않도록 (CV).



■ 해서는 안될 일 :

29.4V 리튬전지에 일반 직류전원공급장치 (예를 들면 28V 파워공급장치)에 직접 연결하면 전류제어가 안되기 때문에 리튬전지에 과대한 전류가 흘러들어가서 리튬전지를 파손시킨다.

Lithium Ion Charging Characteristics



충전기의 기타 보조 기능 / 타보스 제품 기준

[기본 안전 기능 및 편의]

■ 예비 충전 기능 (Pre Charging)

: 리튬전지가 연결되어 있는지 감지하며, 연결되어 있으면 최저 전압에 도달할 때까지 미세 펄스 충전.

■ 회로 단락보호 및 자동복귀

: 출력선 합선을 자동 감지 및 출력을 차단 / 합선 해지시 자동 복귀.

■ 배터리의 과충전, 과전류충전 방지 기능.

■ 1차 AC전원단과 2차 출력DC전원단이 전기적으로 절연.

■ 배터리 역극성 결선 충전 방지 기능

: 감지장치가 있어서 + / - 가 바뀌어 접속되어도 배터리 및 충전기가 고장 나지 않도록.

→ 이 때 모니터링 기능이 있어 사용자가 결선을 바로 잡으면 정상 충전을 할 수 있도록 하는 기능.

■ 배터리와 전선으로 연결되어 있지 않을 때 출력전류 차단 기능

: 충전기 전원이 켜져 있더라도 충전기 출력단자에 충전전류가 출력되지 않게 하는 기능.



[고급 기능]

상위 제어기와 통신으로 연결 제어 : 충전 전류 필요시 수지 제어 기능 , 모니터링 기능,

모터 작동 원리 이해 → 모터는 동시에 발전기이다.

[화두] : 돌아가는 모터 축을 못 돌아가게 하면 왜 모터가 탈까?

■ 모터는 모터 본연의 역할도 하지만 , 일단 회전하면 역기전류를 공급하는 발전기 역할을 한다.

$V_{in} = 24V$

[모터 회전시의 발전 전압]

$V_{Gen} = 22V$ (약부하 회전수 3,000 rpm 에서)
 = $18V$ (중부하 회전수 2,500 rpm 에서)
 = $16V$ (고부하 회전수 2,000 rpm 에서)
 = $0V$ (모터축회전 강제 고정 0 rpm 에서)

모터 코일의 저항을 $R = 100\Omega$
 이라 가정하자 (통상적인 데이터에 의함)

모터 코일 저항에 걸리는 전압

$$V_R = V_{in} - V_{Gen}$$

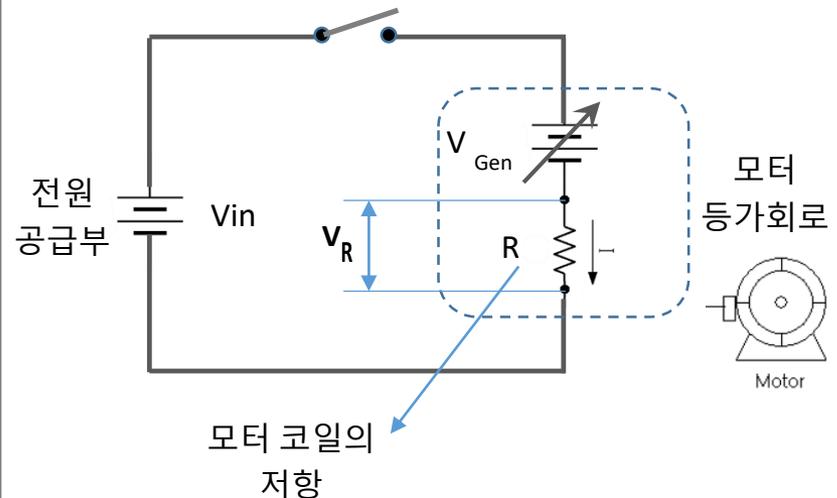
모터에 흐르는 전류 $I = V_R / R = (V_{in} - V_{Gen}) / R$

약부하시 $I = (24V - 22V) / 1\Omega = 2A$

중부하시 $I = (24V - 18V) / 1\Omega = 6A$

고부하시 $I = (24V - 16V) / 1\Omega = 8A$ ← 초기 기동시(기동전류)

모터축 강제 고정시 $I = (24V - 0V) / 1\Omega = 24A$



위 원리는 DC모터이든 AC모터이든 동일함.

*** 모터 부하가 많으면 전류가 많이 흘러 모터 과열***
모터축 강제 고정시
 → 초 고전류가 흘러 모터 코일 피복이 녹아 합선.
 → 합선되면 코일 저항이 낮아져 초고열발생 → 소손

모터 기동 전류를 배터리가 공급할 수 있는가?

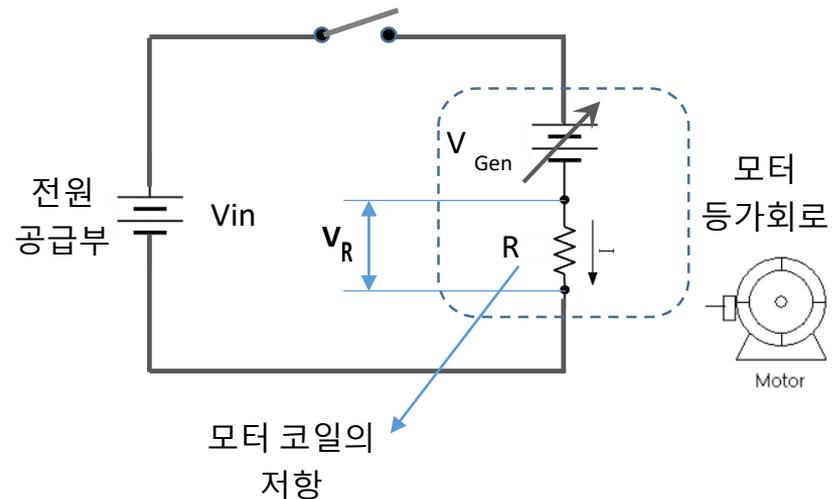
기동전류 공급이 충분하도록 리튬전지셀을 Middle Rate급 으로 사용하며, BMS가 제어하는 방전전류 크기를 충분히 크게 할 필요. → 리튬전지팩 사양서 참조

- 기동전류 공급이 충분하도록 리튬전지셀을 Middle Rate급 으로 사용하며 BMS의 전류 방전 용량을 충분히 크게 할 필요. → 리튬전지팩 사양서 참조

- 모터 기동전류는 모터 정격전류의 5배 이상.

- 모터 기동전류를 줄이는 일반적인 방법은 모터 속도 제어장치로 가속시간을 길게, 즉 초기 기동속도를 천천히 하도록 지령.

→ 제어기 내부적으로는 V_{in} 전압을 서서히 올림



위 원리는 DC모터이든 AC모터이든 동일함.

모터 작동 원리 이해 → 모터는 동시에 발전기이다.

[화두] : 모터 회전시 생기는 발전 전력을 이용할 수는 없을까?

배터리 구동 전기차 감속 및 제동시 에너지의 회생이용

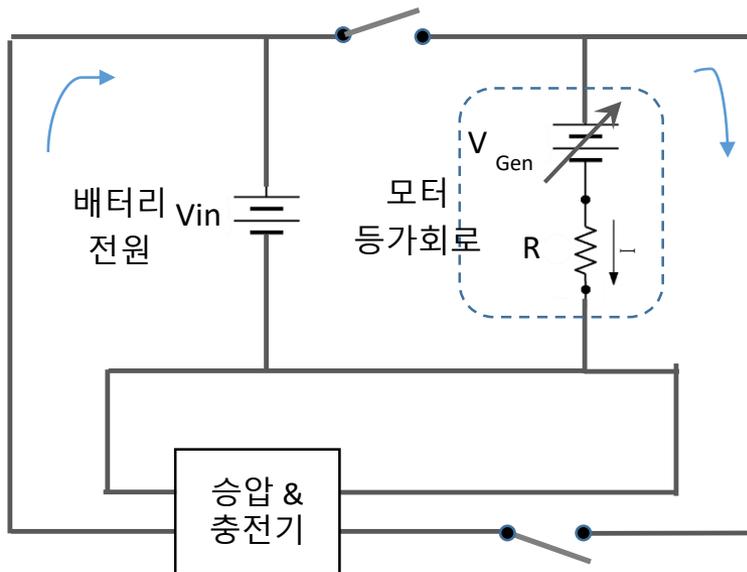
모든 승용전기차는 회생 제동을 이용하고 있다.

- ① 감속시 생기는 에너지,
- ② 경사로를 내려갈 때 생기는 에너지를 배터리에 충전 → 배터리 사용시간 증대

산업용 전기차는 대부분 아직 회생 제동을 많이 이용하고 있지 못하다. → 상품화 저조



급경사 전기철도의 제동방법



시스템 (전기차)에 축적되는 위치에너지를 어떠한 방법으로든 시스템 외부로 에너지를 방출하자!

브레이크만으로 제동하면 브레이크가 다 타버린다.

모터에서 생성된 (발전되는 에너지를)

→ 저항으로 태워서 열로 없애버린다. : **발전제동 (저항제동)**

→ 발전된 전기를 승압시켜서 전원선으로 송전하고 송전된 전기에너지는 다른 부하에서 소진한다. (송전전에 연결된 모든 부하를 통해) : **회생제동 (= 에너지의 재생)**