
대용량 Supercapacitor의 특성 및 기술 개발 동향

진창수, 문성인, 김종휘*

(한국전기연구소, *한국에너지기술연구소)

서론

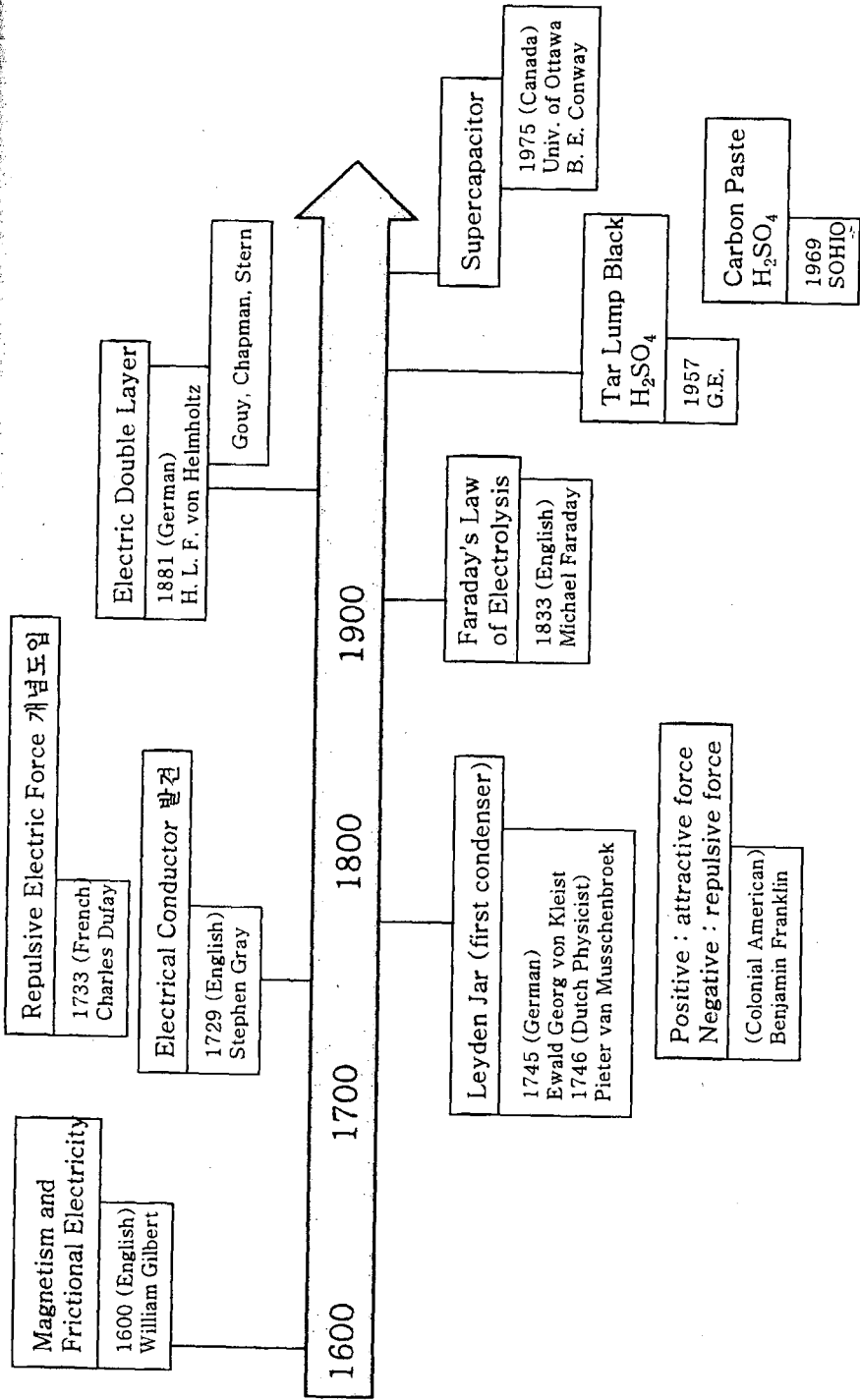
저전류형의 전기이중층 캐퍼시터(EDLC)는 이미 오래 전부터 전자기기의 메모리 백업용 전원원으로 사용되어져 오고 있으며, 출력특성이 향상된 EDLC의 개발로 인하여 2차전지와는 다른 펄스 방전 특성과 낮은 에너지 밀도를 갖는 기존의 콘덴서와 구별되는 특성을 지녀 새로운 에너지 저장장치로서 전기자동차의 보조전원 및 펄스방전 특성을 요하는 이동통신 기기 등의 여러 분야에 응용이 기대되어 많은 연구가 진행되고 있다. EDLC는 전극과 전해질 계면에서의 전하분리에 의한 에너지 저장을 하므로 수명이 반영구적이다. 정전용량은 전극의 표면적에 비례를 하며 전극으로 사용되는 재료는 이상분극전극으로서 사용하고자 하는 전위 범위 내에서 전극반응을 일으키지 않는 소재로 탄소재료가 적합하다. 활성탄소는 높은 비표면적을 가지며 비교적 낮은 cost와 장수명 등의 장점이 있어 전기이중층 캐퍼시터의 전극 재료로서 많이 사용되고 있다.

EDLC는 두장의 이상분극전극과 전해질, separator 및 케이스로 구성된다. 전해질은 수용성 전해질과 유기전해질로 나눌수 있는데 수용성 전해질에서는 물의 전기분해에 의하여 단위 캐퍼시터의 전압을 1V이상으로 사용할 수가 없는 반면 유기전해질의 경우 3V의 작동전압이 가능하므로 에너지 밀도 특성이 보다 우수하다. 전극재료로써 대면적화와 제조공정상의 장점이 있는 다공성 ACF cloth를 사용하여 캐퍼시터를 제작하였다. ACF의 전기전도성을 향상시키기 위하여 ACF cloth에 IVD법으로 알루미늄을 코팅시켜 캐퍼시터를 제작한 결과 출력밀도 특성이 크게 향상되는 결과를 얻었다. 이 결과를 이용하여 대용량 캐퍼시터를 설계하고 이의 특성연구를 행하였다.

Contents

- 서론
- Supercapacitor 개요
 - Capacitor 역사 및 분류
 - Supercapacitor 특성
 - Supercapacitor 응용
 - 대용량 Supercapacitor 개발 동향
- 소형 capacitor 제조 및 특성
 - Al-coating 전후 특성비교
 - Al-Coated Electrode를 이용한 capacitor 제조 및 특성
- 대용량 capacitor 설계, 제작 및 특성
- Summary

Historical Overview



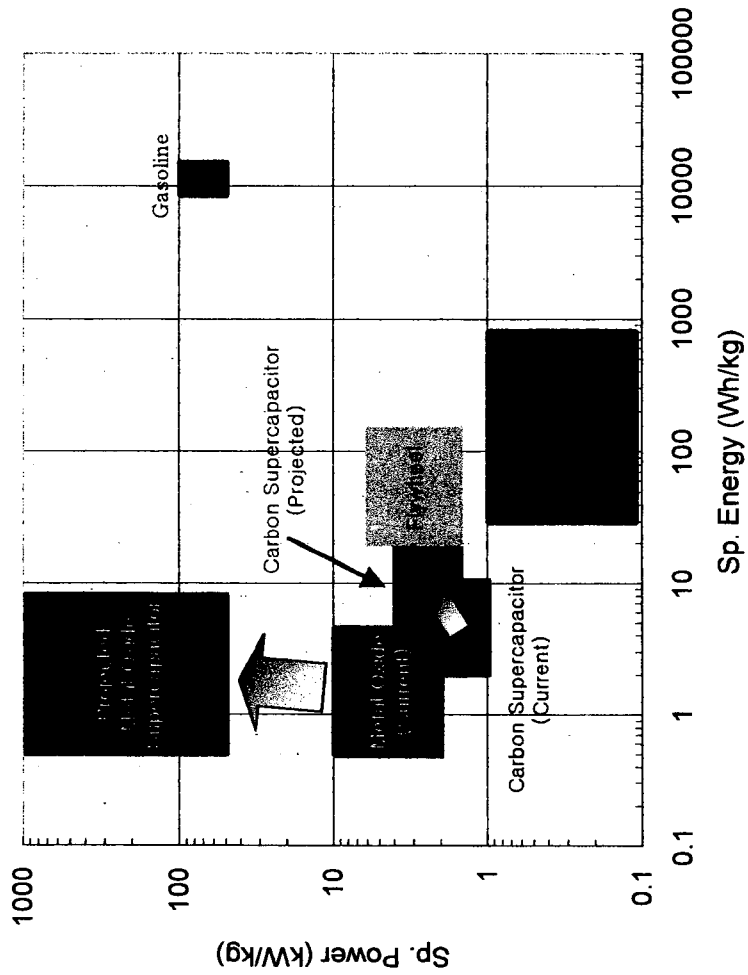
Capacitor 분류

구분	분류	유전체 및 전극
Electrostatic Capacitor	Ceramic	X7R, Z5U, COG
	Film	Polypropylene Polycarbonate Polyester
	Mica	Mica
Electrolytic Capacitor	Al	산화 알루미늄
	Ta	산화 탄탈
Electrochemical Capacitor	Activated Carbon	
	Metal Oxide	
	Conducting Polymer	

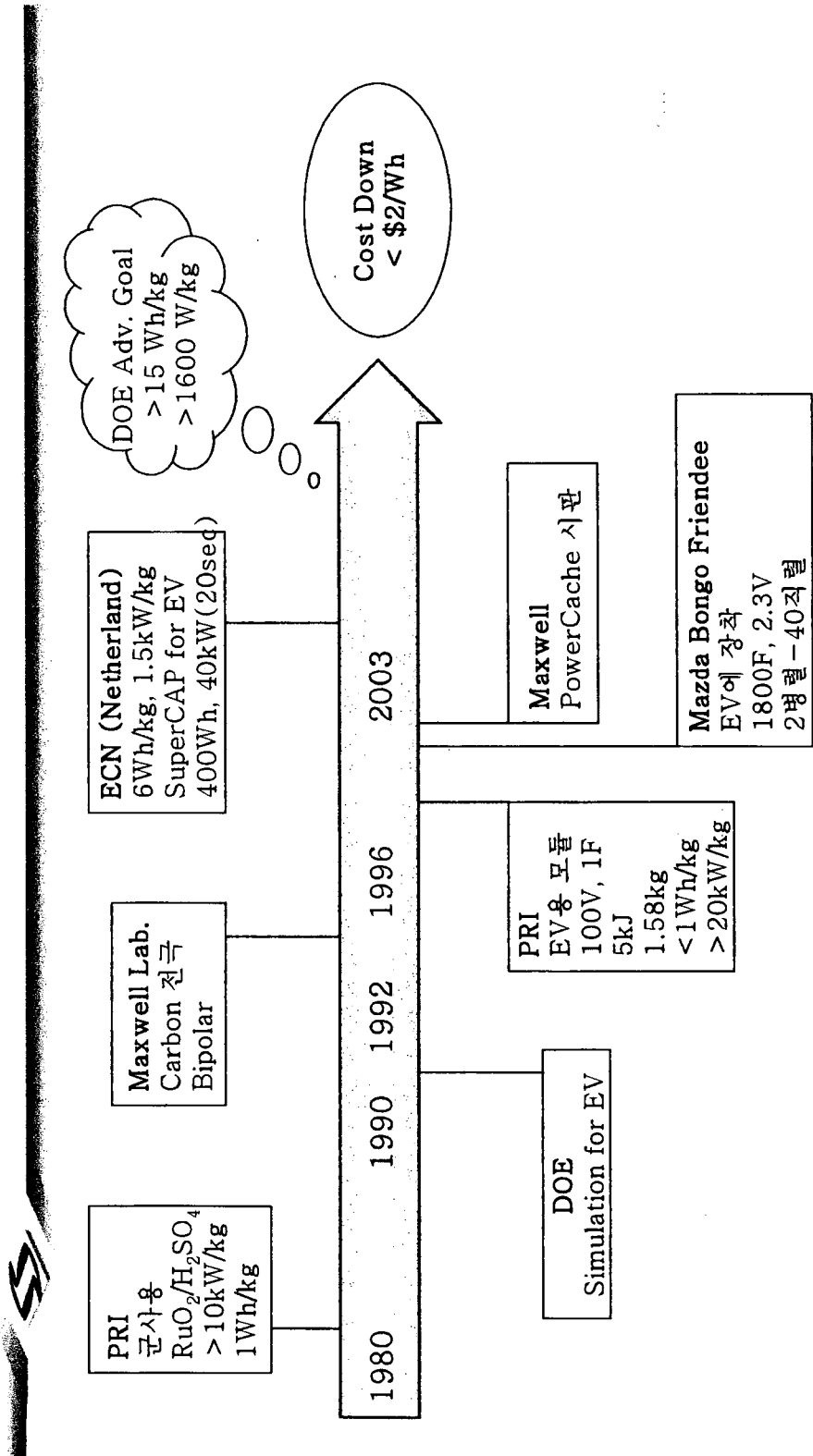
Supercapacitor 전극 재료별 특성

특성	재료		Metal Oxide	Polymer
	Activated Carbon			
Electrolyte	Aqueous	Organic	Aqueous	Aqueous Organic
Working Voltage (V)	1	3	1	1 3
Specific Power (W/kg)	800~3000	600~1500	10000~2000	500 4000
Specific Energy (Wh/kg)	1 ~ 4	2 ~ 10	1 ~ 2.5	2 10
Electrode Material	Fiber, Powder, Aerogel		RuO, NiO	Type I, II, III
Specific Surface Area (m ² /g)	1000 ~ 3000		150	-
Specific Capacitance (F/g)	100 ~ 150	40 ~ 60	100 ~ 750	500
Relative Cost	medium	high	very high	low

에너지 저장 장치들의 에너지 및 출력밀도 특성 비교



대용량 Supercapacitor 개발 동향

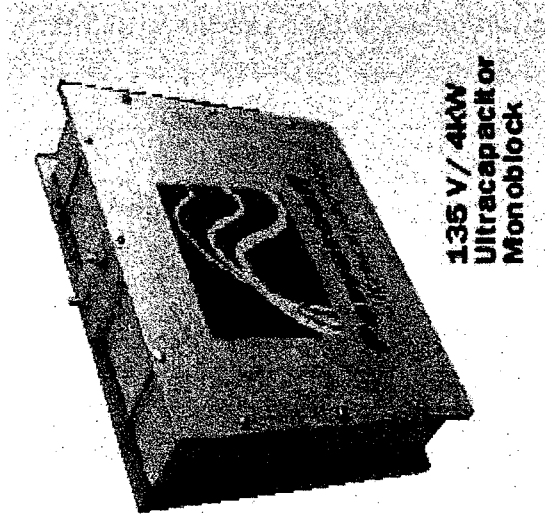


미국 일본의 Supercapacitor 연구개발 동향



연구기관	연구내용	개발 Spec.
Maxwell	활성탄소섬유 유기전해질	2.3V, 2300F 2.1Wh/kg, 4kW/kg
LLNL	Carbon Aerogel Aerocapacitor, aqueous	40F/cm ² 4Wh/kg, 7kW/kg
Panasonic	활성탄소분말 유기전해질	3V, 70~1500F 2.2Wh/kg, 0.5~1kW/kg
NEC	활성탄소분말수지성형 황산전해질	15V, 470F 1.3Wh/kg, 0.5kW/kg
Asahi Glass	활성탄소분말 유기전해질	3V, 3000~4000F 6Wh/kg, 0.4kW/kg
Elna	활성탄소분말	2.5V, 100F 1.8Wh/L

Ultracapacitor (Powercell)



Voltage : 135 V
Capacitance : 18.6 F
Energy : 47 Wh
Peak Power : 4 kW
Peak Current : 45 A
30 Sec Discharge : 2.5 kW
Dimensions : 31.8 x 31.8 x 6.4 cm³
Weight : 8 kg

Cells : 45 (series)
Cell Capacitance : 837 F
Cell voltage : 3 V

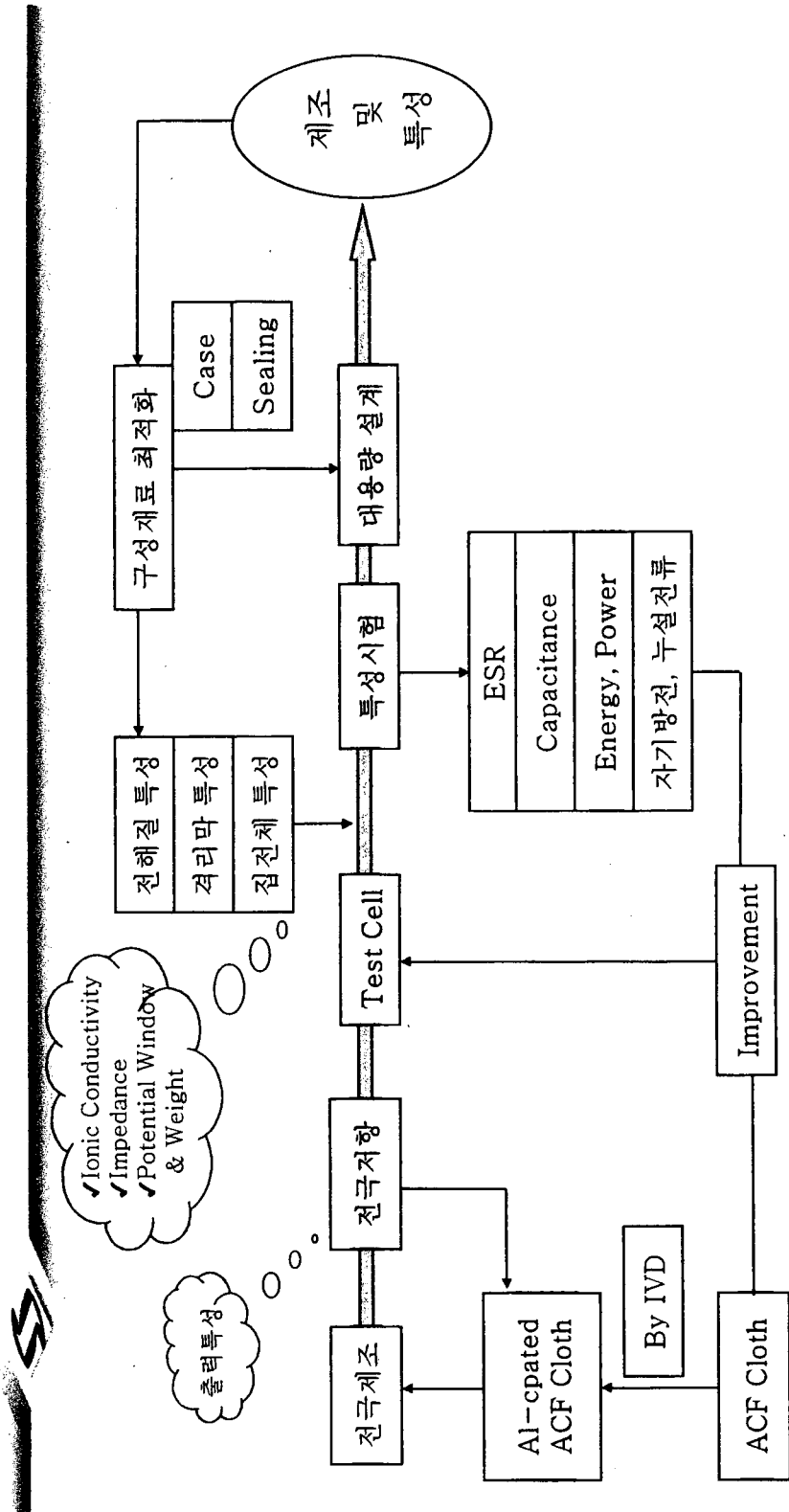
PowerCache (Maxwell)

Model	Capacitance (F)	Voltage (V)	Energy (J)	ESR (dc) (mΩ)	Dimension (mm)
PC223	8	2.3	26	125	29x23.3x4.2
PC0323	10	2.3	264	10	51x33.3x15.9
PC2623	1000	2.3	2645	1.85	160x75x24
PC2500	2500	2.3	7500	1.0	161x61.5x61.5
PC7223	2700	2.3	7142	0.85	164x42x62
PCM14014	135	14	14000	10	160x80x150
PCM150056	95	56	150000	25	160x80x150

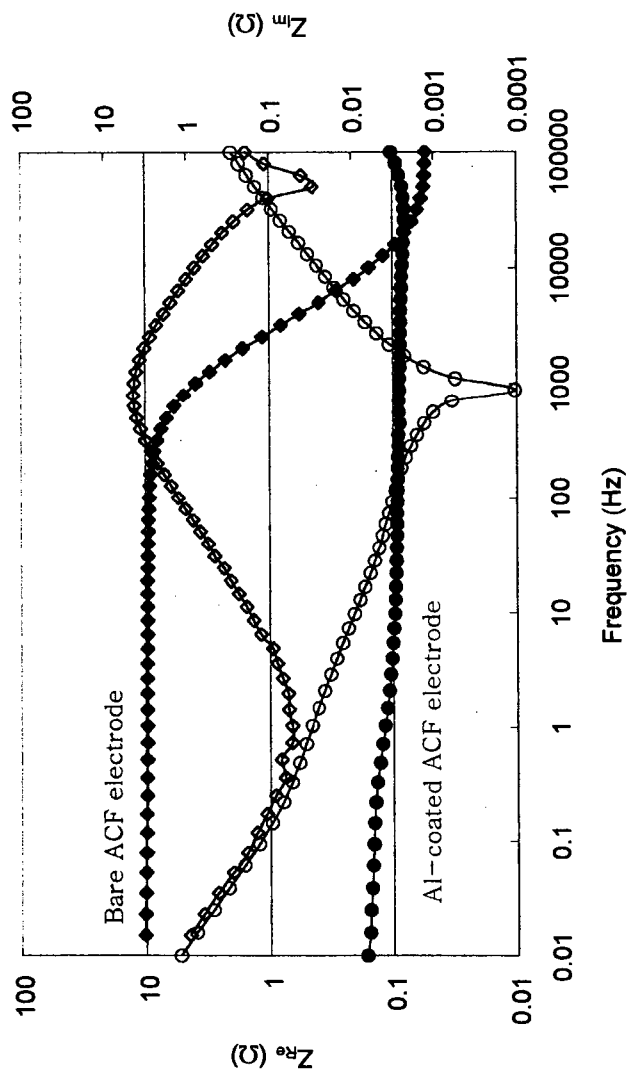
응용분야별 Supercapacitor 사양

Application	Wh	Max Power	Weight	Vol	kW/kg	Wh/kg	Cycle	Volt
Automotive								
Engine start	2~5	4kW	3kg	1.5L	0.8	0.6~1	5,000	15
Electric heat Cat.	10~20	5kW	4kg	2L	0.5~1	2~4	60,000	26
Power steering	1	750W	0.3kg	0.3L	0.5	2~4	60,000	26
Electric/hybrid Vehicle	200~500	50~100kW	35kg	35L	1~2	5~10	100,000	200~400
Electronics								
Memory backup	0.1	5~100mW	100g	65cm ³	<10 ⁻³	0.5~1	<10,000	5
Power backup	0.02	400W	50g	20cm ³	8	0.5~1	<10,000	5~60
Medical								
Defibrillator	0.3	10~15kW	30g	15cm ³	500	0.65~1.3	1,000	400~700
Hands tools								
Drills/Drivers	10~15	500W	500W	350cm ³	2	20~30	50,000	4
Military								
Rail gun	-	-	-	-	500	5	-	10 ⁴

대용량 Supercapacitor 제조 Scheme

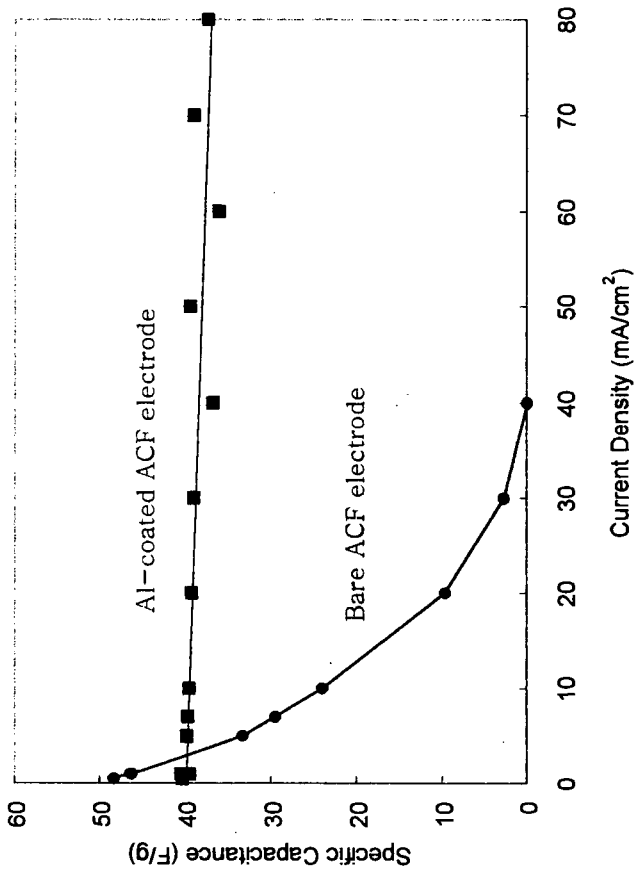


Al 코팅 전후의 Ac Impedance 특성 비교



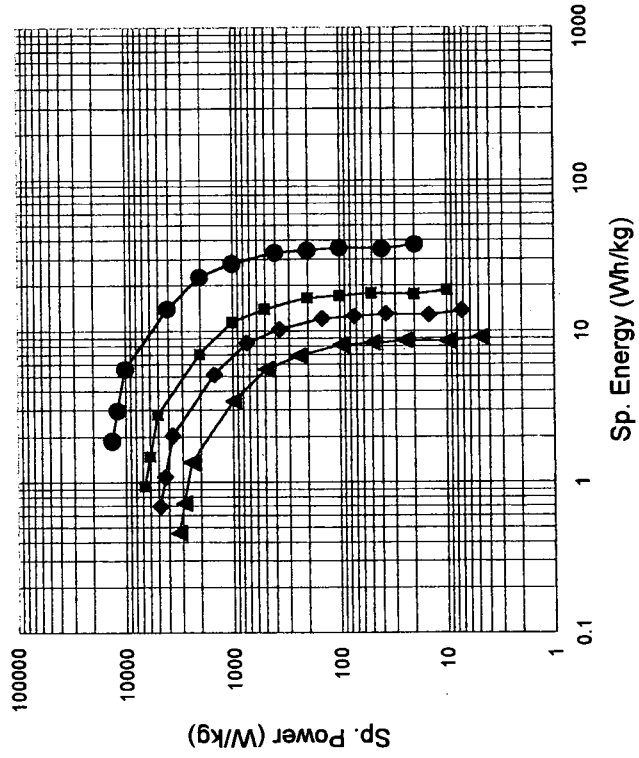
Electrode Size : $5 \times 5 \text{ cm}^2$
 Electrolyte : 1M TEABF₄/AN

Al 코팅 전후의 정전용량 특성 비교



Electrode Size : 5 x 5 cm²
Electrolyte : 1M TEABF₄/AN

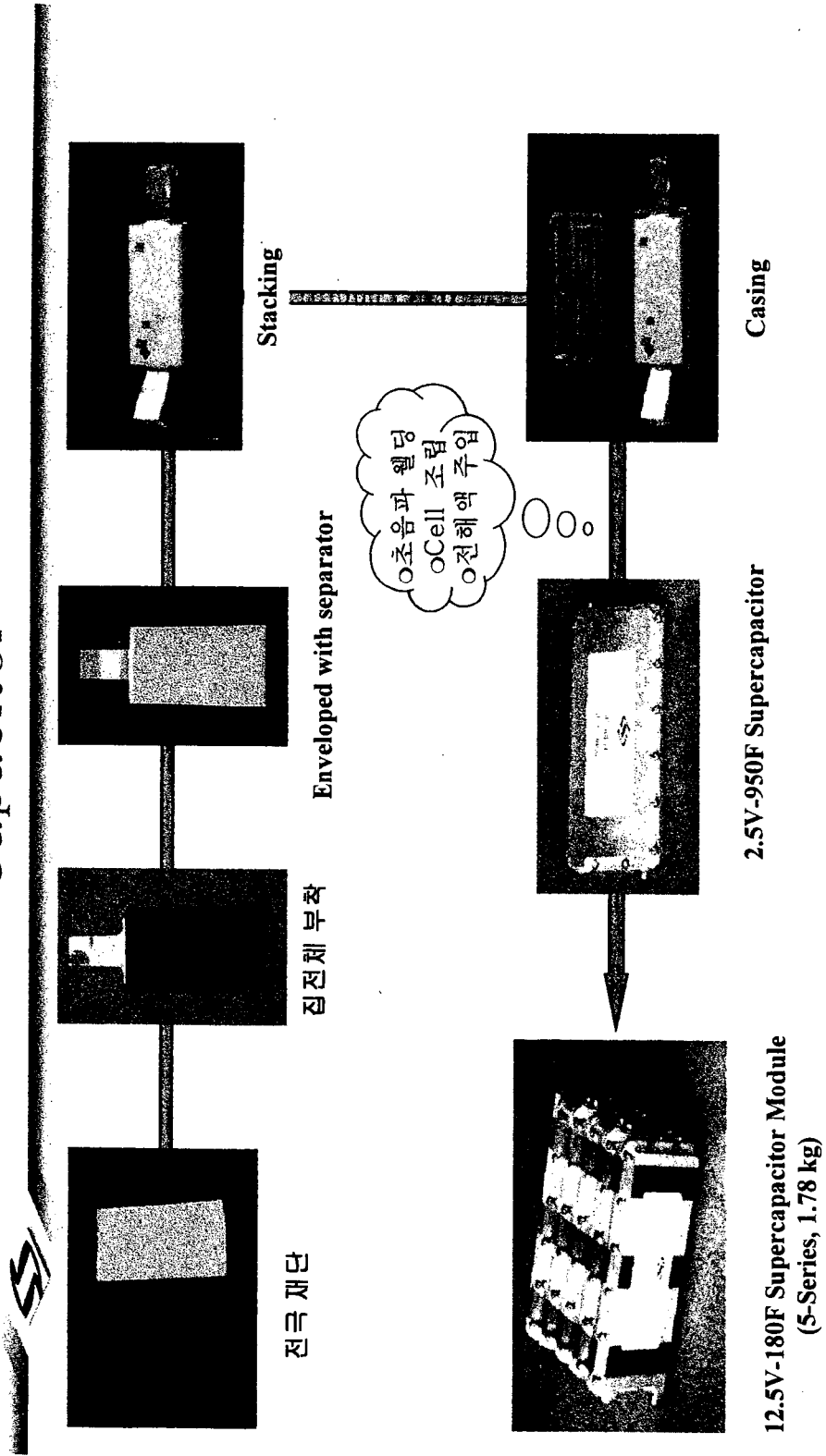
Ragone Plot of Test Capacitor



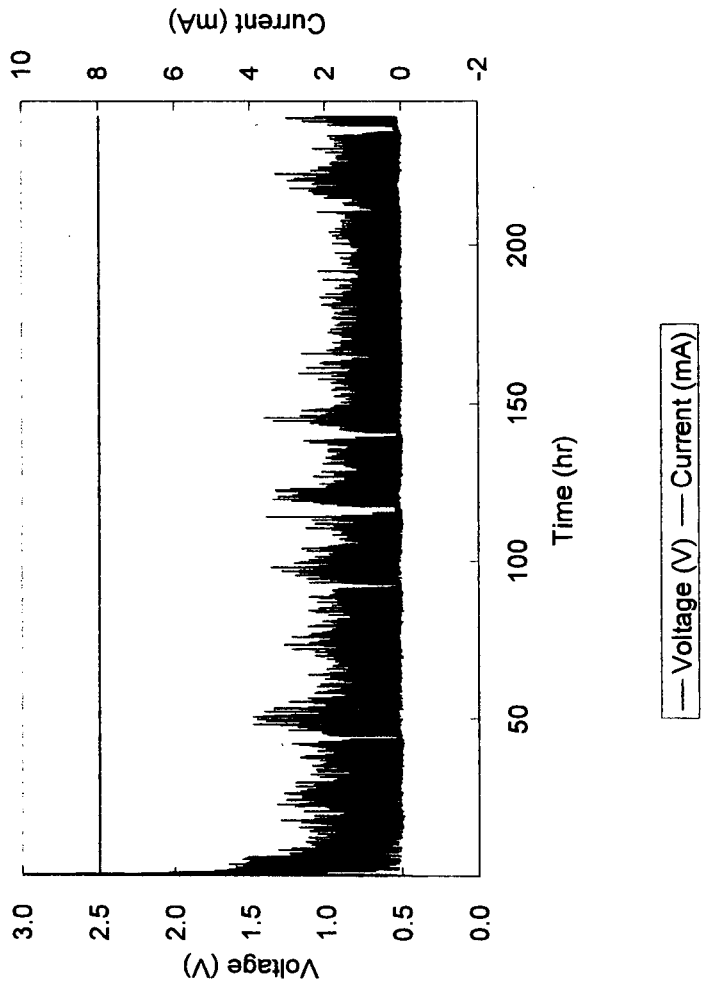
- 단면전극 1매 무개 기준
- 단면전극 2매 무개 기준
- ◆ 전극+격리막+집전체 무개 기준
- ▲ 전해질포함 (Case, terminal 제외)
(작동전압 : 2.5V)

Electrode Size : 5 x 5 cm²
Electrolyte : 1M TEABF₄/AN

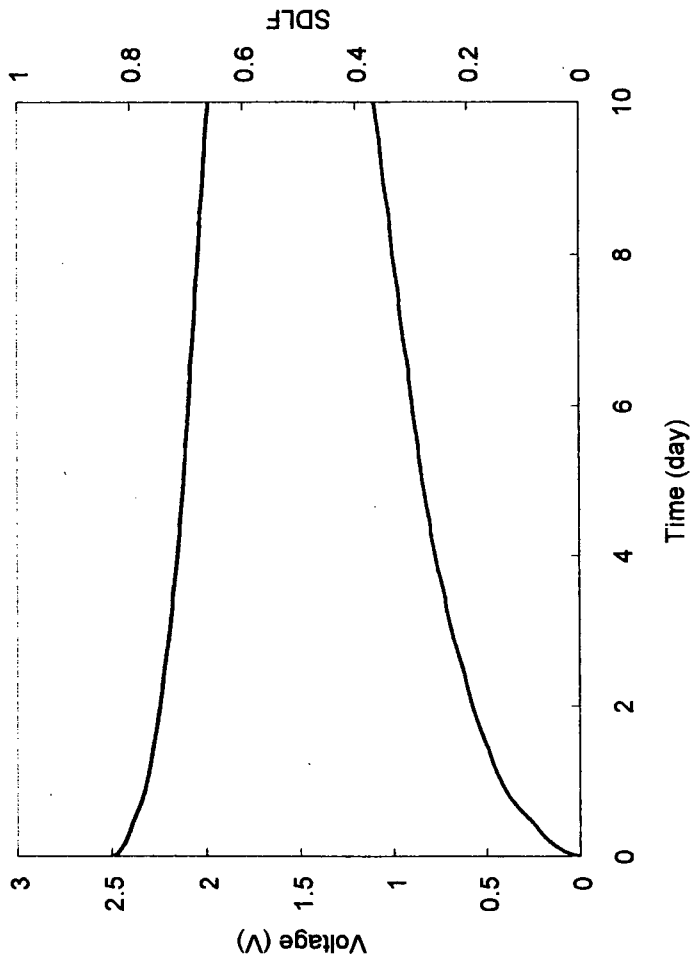
Fabrication Process of 2.5V-950F Class Capacitor



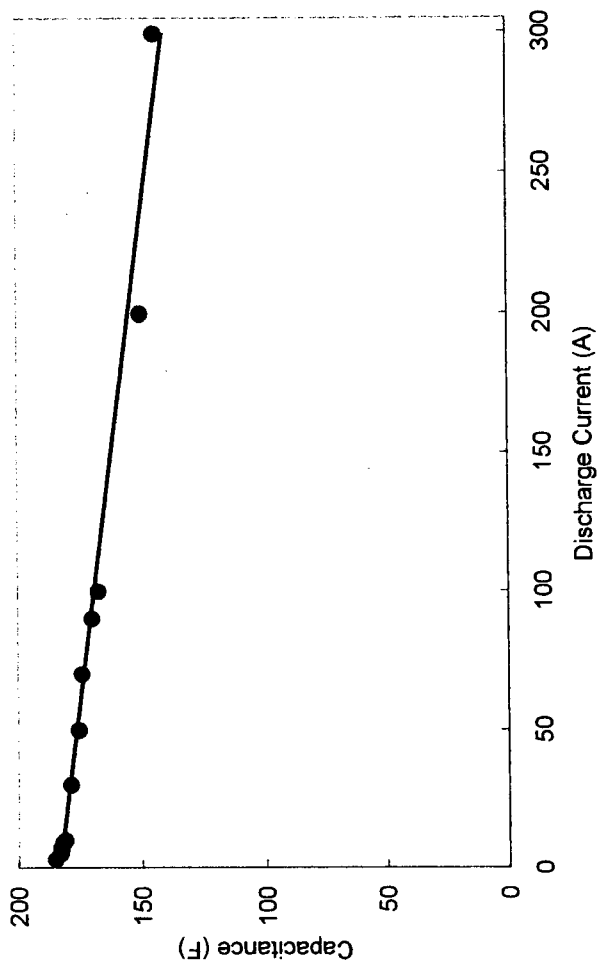
Leakage Current of 2.5V-950F Class Capacitor



Self Discharge Property of 2.5V-950F Class Capacitor

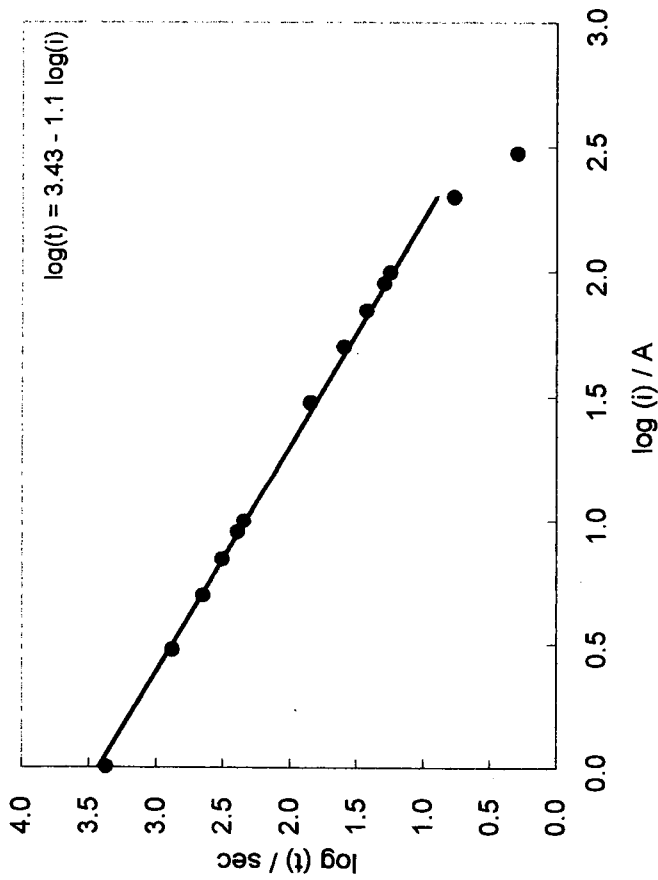


Capacitance of 12.5V-180F Class Module

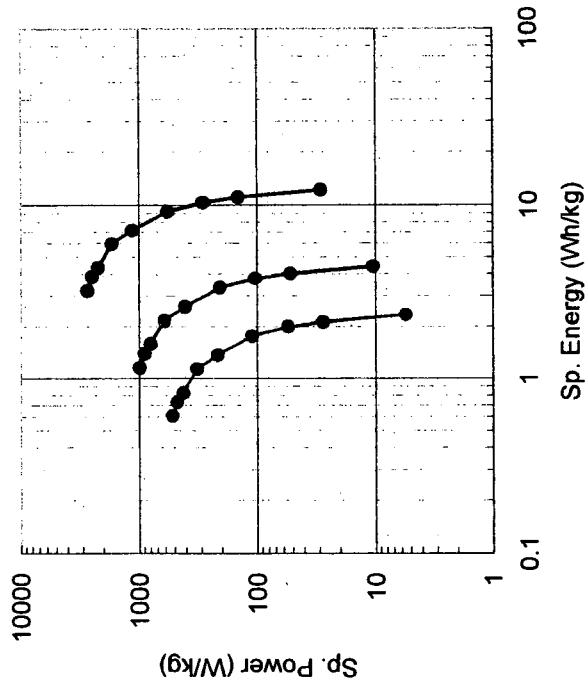


전압범위 : 0 ~ 12.5V
충전 : 10A-12.5V, 15분
온도 : 25°C

Discharge Time vs. Current (12.5V-180F Class Module)



Ragone Plot of 12.5V-180F Class Module



●-전극+집전체+Separator 무계기준 ●-전해질 포함 무계기준 ●-모듈 무계기준

Summary

○ 대용량 capacitor 설계 및 제작

- 정전용량 : 950F 급
- 작동전압 : 2.5V (3V)
- Leakage Current : < 2mA
- ESR : 2 ~ 3.7mΩ (Ac Impedance)

○ 모듈 (5-Series)

- 무게 및 Size : 1.78 kg, 17x12x7.6 cm³
- 정전용량 : 180F 급
- 작동전압 : 12.5V (15V)
- ESR : 23mΩ (AC)
- Specific Power & Specific Energy

특성	12.5V		15V		비고
	Case 제외 무게기준	Module 무게기준	Case 제외 무게기준	Module 무게기준	
Sp. En (Wh/kg)	4.4	2.3	6.6	3.5	
Sp. Power (W/kg)	1005	530	1850	975	