



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0044090
(43) 공개일자 2016년04월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B01J 13/02 (2006.01) B01J 19/18 (2006.01)

C01G 53/00 (2006.01) H01M 4/525 (2010.01)

(21) 출원번호 10-2014-0138172

(22) 출원일자 2014년10월14일

심사청구일자 2014년10월14일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

주식회사 엘지화학

서울특별시 영등포구 여의대로 128 (여의도동)

(72) 발명자

박병천

대전광역시 유성구 문지로 188 LG화학 기술연구원 내

김우식

서울 송파구 중대로 24, 108동 1105호 (문정동, 올림픽훼밀리타운)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인태평양

전체 청구항 수 : 총 8 항

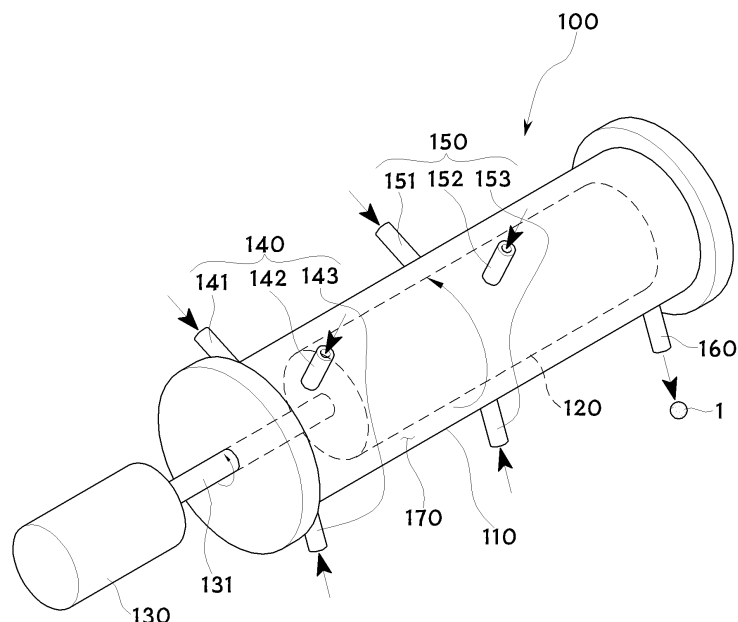
(54) 발명의 명칭 연속식 쿠에트-테일러 결정화기를 이용하는 코어셸 적층입자 제조방법

(57) 요약

본 발명에 따른 코어셸 적층입자 제조방법은 외부원통(110)과 내부원통(120) 사이의 쿠에트-테일러 유체통로(170)에 흐르는 유체의 흐름방향을 따라 외부원통(110)에 코어반응물 유입구(140), 셸반응물 유입구(150), 및 생성물 유출구(160)가 순차적으로 형성된 연속식 쿠에트-테일러 결정화기(100)를 이용하되, 코어반응물 유입구

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



(140)를 통해서 투입되는 코어반응물에 의하여 유체통로(170)에서 코어입자(10)가 먼저 형성되도록 한 다음에 셀 반응물 유입구(150)를 통해서 투입되는 셀반응물에 의하여 코어입자(10)의 둘레에 셀층(20)이 적층 형성되도록 하여, 코어입자(10)의 둘레에 셀층(20)이 적층된 코어셀 적층입자(1)가 생성물 유출구(160)를 통해서 외부 배출 되도록 하는 것을 특징으로 한다. 본 발명에 의하면, 하나의 쿠에트-테일러 결정화기(100)에서 코어입자(10)와 셀층(20)을 연속적으로 생성시킴으로써 손쉽게 대량생산을 도모할 수 있다. 또한 쿠에트-테일러 결정화기의 유로 통로가 종래의 임펠러 유동방식의 경우와 달리 좁으면서도 활발한 유체유동을 가지므로 균일한 크기의 입자를 생성시킬 수 있게 된다. 그리고 셀반응물 농도, 내부회전원통(120)의 회전속도, 셀반응물의 평균체류시간, 셀반응물의 pH에 의해 셀층(20)의 형성이 민감하게 영향을 받으므로 위에서 언급한 적절한 공정 조건을 통하여 전기적 특성과 내구성이 우수한 코어셀 적층입자(1)를 대량으로 쉽게 얻을 수 있다.

(72) 발명자

강성훈

대전광역시 유성구 문지로 188 LG화학 기술연구원
내

박홍규

대전광역시 유성구 문지로 188 LG화학 기술연구원
내

정왕모

대전광역시 유성구 문지로 188 LG화학 기술연구원
내

타이, 쿤웅 디엔

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 경희대학교

명세서

청구범위

청구항 1

외부원통과 내부원통 사이의 쿠에트-테일러 유체통로에 흐르는 유체의 흐름방향을 따라 상기 외부원통에 코어반응물 유입구, 셸반응물 유입구, 및 생성물 유출구가 순차적으로 형성된 연속식 쿠에트-테일러 결정화기를 이용하되, 상기 코어반응물 유입구를 통해서 투입되는 코어반응물에 의하여 상기 유체통로에서 코어입자가 먼저 형성되도록 한 다음에 상기 셸반응물 유입구를 통해서 투입되는 셸반응물에 의하여 상기 코어입자의 둘레에 셸층이 적층 형성되도록 하여, 상기 코어입자의 둘레에 셸층이 적층된 코어셸 적층입자가 상기 생성물 유출구를 통해서 외부 배출되도록 하는 것을 특징으로 하는 코어셸 적층입자 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 코어반응물과 셸반응물 각각이 금속성 수용액, 염기성 수용액, 및 암모니아 수용액을 포함하는 것을 특징으로 하는 코어셸 적층입자 제조방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 코어입자는 $[\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z](\text{OH})_2$, 상기 셸층은 $[\text{Ni}_a\text{Co}_b\text{Mn}_c](\text{OH})_2$ 의 성분과 조성을 가지는 것을 특징으로 하는 코어셸 적층입자 제조방법, 여기서 $x+y+z=1$, $a+b+c=1$ 임.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 셸반응물의 농도가 1.0M을 넘지 않는 것을 특징으로 하는 코어셸 적층입자 제조방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 내부원통의 회전속도가 100~3000rpm 인 것을 특징으로 하는 코어셸 적층입자 제조방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 셸반응물 유입구로 투입된 셸반응물이 상기 생성물 유출구로 외부 배출되기 전까지 상기 유체통로에 체류하는 평균체류시간이 30~90분인 것을 특징으로 하는 코어셸 적층입자 제조방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 셸반응물의 pH가 11~13인 것을 특징으로 하는 코어셸 적층입자 제조방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 셸반응물의 농도가 1.0M을 넘지 않고, 상기 내부원통의 회전속도가 100~3000rpm 이며, 상기 셸반응물 유입구로 투입된 셸반응물이 상기 생성물 유출구로 외부 배출되기 전까지 상기 유체통로에 체류하는 평균체류시간이 30~90분이고, 상기 셸반응물의 pH가 11~13이며, 상기 셸반응물이 금속성 수용액, 염기성 수용액, 및 암모니아 수용액을 포함하는 것을 특징으로 하는 코어셸 적층입자 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 코어셸 적층입자 제조방법에 관한 것으로서, 특히 쿠에트-테일러 결정화기에서 코어입자를 먼저 형성하고 이에 연속하여(in-line) 동일한 결정화기 내에서 상기 코어입자에 셸층을 적층 형성하는 코어셸 적층입자 제조방법에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 리튬 이차전지의 양극 활물질은 전지의 성능, 수명, 및 용량을 결정하는 매우 중요한 요소이기 때문에, 급증하는 이차전지 시장의 수요에 따라 양극 활물질을 신뢰성 있게 대량으로 생산할 수 있는 기술개발에 심혈을 기울이고 있는 추세이다.
- [0003] 이러한 일환으로 코어입자에 셸층이 적층 형성된 코어셸 적층입자를 양극 활물질의 전구체로 사용코자 하는 시도가 있었다(대한민국 공개특허 제2013-80565호.2013.07.15.공개). 이러한 코어셸 적층구조는 코어입자와 셸층이 상호보완적인 기능을 수행함으로써 양극활물질로서의 자격을 갖추기에 유리하기 때문에 매우 바람직하다는 평가를 받고 있다.
- [0004] 코어셸 적층입자의 물성을 결정하는 주요인자로 코어입자의 조성, 크기, 모양, 셸층의 조성 및 두께를 들 수 있다.
- [0005] 종래에는 이러한 코어셸 적층입자를 형성하기 위해서 임펠러를 이용하여 회전요동을 유도하는 단순한 공침반응기를 사용하여 제조하였다. 이러한 공침반응기의 일예가 대한민국 등록특허 제1062404호(2011.08.30.등록)에 개시된 바 있다. 그러나 종래의 이러한 임펠러 방식의 공침반응기를 통해서는 반응공간이 벌크(bulk) 형태로 크기 때문에 위와 같은 주요인자를 정밀 제어하는데 상당히 어려움이 많으며, 특히 하나의 공침반응기에서 코어입자와 셸층을 연속하여 완성하기가 어렵다는 단점이 있다. 이는 종래의 제조방식으로는 원하는 성분 및 조성을 가지는 코어셸 적층입자를 얻기가 어려우며 또한 이를 대량생산하기에 부적합하다는 것을 의미한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 따라서 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 쿠에트-테일러 결정화기에서 코어입자를 먼저 형성하고 이에 연속하여(in-line) 동일한 결정화기 내에서 상기 코어입자에 셸층을 적층 형성함으로써 상술한 종래의 문제점을 해결할 수 있는 코어셸 적층입자 제조방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

- [0007] 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명에 따른 코어셸 적층입자 제조방법은,
- [0008] 외부원통과 내부원통 사이의 쿠에트-테일러 유체통로에 흐르는 유체의 흐름방향을 따라 상기 외부원통에 코어반응물 유입구, 셸반응물 유입구, 및 생성물 유출구가 순차적으로 형성된 연속식 쿠에트-테일러 결정화기를 이용하여, 상기 코어반응물 유입구를 통해서 투입되는 코어반응물에 의하여 상기 유체통로에서 코어입자가 먼저 형성되도록 한 다음에 상기 셸반응물 유입구를 통해서 투입되는 셸반응물에 의하여 상기 코어입자의 둘레에 셸층이 적층 형성되도록 하여, 상기 코어입자의 둘레에 셸층이 적층된 코어셸 적층입자가 상기 생성물 유출구를 통해서 외부 배출되도록 하는 것을 특징으로 한다.
- [0009] 상기 코어반응물과 셸반응물 각각은 금속성 수용액, 염기성 수용액, 및 암모니아 수용액을 포함하는 것이 바람직하다.
- [0010] 상기 코어입자는 $[Ni_xCo_yMn_z](OH)_2$, 상기 셸층은 $[Ni_aCo_bMn_c](OH)_2$ 의 성분과 조성을 가지는 것이 바람직하다. 여기서 $x+y+z=1$, $a+b+c=1$ 이다.
- [0011] 상기 셸반응물의 농도는 1.0M을 넘지 않는 것이 바람직하다.
- [0012] 상기 내부원통의 회전속도는 100~3000rpm 인 것이 바람직하다.
- [0013] 상기 셸반응물 유입구로 투입된 셸반응물이 상기 생성물 유출구로 외부 배출되기 전까지 상기 유체통로에 체류하는 평균체류시간은 30~90분인 것이 바람직하다.
- [0014] 상기 셸반응물의 pH는 11~13인 것이 바람직하다.
- [0015]

발명의 효과

- [0016] 본 발명에 의하면, 하나의 쿠에트-테일러 결정화기에서 코어입자와 셀층을 연속적으로 생성시킴으로써 손쉽게 대량생산을 도모할 수 있다. 또한 쿠에트-테일러 결정화기의 유로통로가 종래의 임펠러 유동방식의 경우와 달리 좁으면서도 활발한 유체유동을 가지므로 균일한 크기의 입자를 생성시킬 수 있게 된다. 그리고 셀반응물 농도, 내부회전원통의 회전속도, 셀반응물의 평균체류시간, 셀반응물의 pH에 의해 셀층의 형성이 민감하게 영향을 받으므로 위에서 언급한 적절한 공정 조건을 통하여 전기적 특성과 내구성이 우수한 코어셀 적층입자를 대량으로 쉽게 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0017] 도 1은 본 발명에 따라 제조되는 코어셀 적층입자(1)를 설명하기 위한 도면;
- 도 2 및 도 3은 본 발명에 따른 코어셀 적층입자(1)를 제조하는데 사용되는 연속식 쿠에트-테일러 결정화기(100)를 설명하기 위한 도면들;
- 도 4는 본 발명에 의해 제조된 코어셀 적층입자(1)의 전자현미경 사진 및 EDX 분석결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 이하에서, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부한 도면들을 참조하여 상세히 설명한다. 아래의 실시예는 본 발명의 내용을 이해하기 위해 제시된 것일 뿐이며 당 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 기술적 사상 내에서 많은 변형이 가능할 것이다. 따라서 본 발명의 권리범위가 이러한 실시예에 한정되는 것으로 해석해서는 안 된다.
- [0019] 도 1은 본 발명에 따라 제조되는 코어셀 적층입자(1)를 설명하기 위한 도면이다. 도 1에 도시된 바와 같이 코어셀 적층입자(1)는 코어입자(10)의 표면둘레에 셀층(20)이 적층 형성된 구조를 갖는다. 이 때 코어입자(10)는 전기적 특성이 뛰어나고 셀층(20)은 내구성이 뛰어난 특성을 가지도록 하면 코어셀 적층입자(1)는 우수한 전기적 특성과 내구성을 가지게 된다.
- [0020] 본 발명은 이러한 의미에서 코어입자(10)는 니켈-리치(Ni-rich)인 $[\text{Ni}_{0.9}\text{Co}_{0.05}\text{Mn}_{0.05}](\text{OH})_2$ 의 성분과 조성을 가지고, 셀층(20)은 half-half 인 $[\text{Ni}_{0.475}\text{Co}_{0.05}\text{Mn}_{0.475}](\text{OH})_2$ 의 성분과 조성을 가져서 코어입자(10)는 전기적 특성이 뛰어나고 셀층(20)은 내구성이 뛰어나도록 하였다.
- [0021] 도 2 및 도 3은 본 발명에 따른 코어셀 적층입자(1)를 제조하는데 사용되는 연속식 쿠에트-테일러 결정화기(100)를 설명하기 위한 도면들이다. 도 2 및 도 3을 참조하면, 쿠에트-테일러 결정화기(100)는 외부고정원통(110)과 내부회전원통(120)을 포함한다. 내부회전원통(120)은 외부고정원통(110)의 종축과 같은 방향의 회전축(131)을 가져서 외부고정원통(110)에 이격된 상태로 회전축(131)을 축으로 회전가능하게 외부고정원통(110) 내에 설치된다. 회전축(131)의 회전은 모터(130)의 구동을 통해 이루어진다. 외부원통이 회전되고 내부원통이 고정될 수도 있으나, 여기서는 내부원통이 회전경우를 예로 들었다.
- [0022] 내부회전원통(120)이 회전하면 외부고정원통(110)과 내부회전원통(120) 사이의 틈새인 유체통로(170)에서 내부회전원통(120)쪽에 위치하고 있던 유체가 원심력에 의해 외부고정원통(110) 방향으로 나가려는 경향을 가지게 되고 이로 인하여 유체는 불안정하게 되어 회전축(131)을 따라 규칙적이며 서로 반대방향으로 회전하는 고리쌍 배열의 와류가 형성된다. 이를 테일러 혹은 쿠에트-테일러 와류(171)라 한다.
- [0023] 외부고정원통(110)에는 유체통로(170)와 연통되도록 유체통로(170)에 흐르는 유체의 흐름방향을 따라 코어반응물 유입구(140), 셀반응물 유입구(150), 생성물 유출구(160)가 순차적으로 형성된다.
- [0024] 코어반응물 유입구(140)는 금속성 수용액 유입구(141), 염기성 수용액 유입구(142), 및 암모니아 수용액 유입구(143)를 포함한다. 이 때 금속성 수용액 유입구(141), 염기성 수용액 유입구(142), 및 암모니아 수용액 유입구(143)는 모두 개별적으로 존재해야 하는 것은 아니며 공유하여 그 개수가 줄어들도록 구성될 수도 있다.
- [0025] 셀반응물 유입구(150)의 경우도 금속성 수용액 유입구(151), 염기성 수용액 유입구(152), 및 암모니아 수용액

유입구(153)를 포함하며, 앞서와 마찬가지로 이들은 모두 개별적으로 존재할 수도 있지만 서로 공유하여 존재할 수도 있다.

[0026] 금속성 수용액 유입구(141, 151)와 염기성 수용액 유입구(142, 152)가 개별적으로 존재하는 경우에는, 금속성 수용액과 염기성 수용액의 반응을 고려하여 금속성 수용액 유입구(141, 151)과 염기성 수용액 유입구(142, 152)를 마주보도록 서로 대향하게 설치하는 것이 바람직하다. 여기서의 대향이라 함은 단순히 마주보게 설치되는 것뿐만 아니라 동일한 출발선상에 위치하도록 하는 것도 포함하는 것이다.

[0027] 본 발명에 따른 코어셀 적층입자(1)의 제조방법은 다음과 같다.

[0028] 코어반응물 유입구(140)를 통하여는 코어반응물을 투입하고, 셸반응물 유입구(150)를 통하여는 셸반응물을 투입하여, 코어반응물 유입구(140)를 통하여 투입되는 코어반응물을 통하여 코어입자(10)가 유체통로(170)에서 먼저 형성되도록 한 다음에, 셸반응물 유입구(150)를 통하여 투입되는 셸반응물에 의해서 유체통로(170)에서 코어입자(10)의 둘레에 셸층(20)이 적층 형성되도록 하여, 결과적으로는 코어입자(10)의 둘레에 셸층(20)이 적층된 코어셀 적층입자(1)가 생성물 유출구(160)를 통하여 외부 배출되도록 한다.

[0029] 코어반응물은 금속성 수용액, 염기성 수용액, 암모니아 수용액을 포함하는데, 금속성 수용액으로는 코발트(Co), Mn(망간), 니켈(Ni), 알루미늄(Al), 코발트(Co), 망간(Mn), 알루미늄(Al), 마그네슘(Mg), 구리(Cu), 아연(Zn), 철(Fe), 바나듐(V), 크롬(Cr), 티타늄(Ti), 텅스텐(W) 및 몰리브덴(Mo)으로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상의 금속을 포함하는 금속염이 물에 용해된 것을 사용할 수 있으며, 염기성 수용액으로는 수산화나트륨(NaOH) 또는 수산화칼륨 수용액을 사용할 수 있다.

[0030] [실시예]

[0031] 금속성 수용액 유입구(141, 151)를 통해서는 금속설페이트(metal sulfate)인 $[\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}, \text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}, \text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 를 투입하였고, 염기성 수용액 유입구(142, 152)를 통해서는 수산화나트륨(NaOH) 수용액을 투입하였으며, 암모니아 수용액 유입구(143, 153)를 통해서는 NH_4OH 용액을 투입하였다.

[0032] 코어반응물 유입구(140)를 통해서 투입되는 금속성 수용액의 조성 and 셸반응물 유입구(150)를 통해서 투입되는 금속성 수용액의 조성이 다르다. 이는 코어입자(10)는 $[\text{Ni}_{0.9}\text{Co}_{0.05}\text{Mn}_{0.05}](\text{OH})_2$ 의 조성을 가지고, 셸층(20)은 $[\text{Ni}_{0.475}\text{Co}_{0.05}\text{Mn}_{0.475}](\text{OH})_2$ 의 조성을 가지도록 하여 우수한 전기적 특성과 내구성을 확보하기 위함이다. 이를 위해 셸반응물 유입구(150) 중에서 금속성 수용액 유입구(151)로 투입되는 금속설페이트는 $\text{Ni}:\text{Co}:\text{Mn} = 0.475:0.05:0.475$ 가 되도록 하였다.

[0033] 금속성 수용액과 염기성 수용액은 동일한 유속으로 투입되었고, 암모니아 수용액은 셸반응물 투입량의 1/10 이 되도록 하였다. 반응물의 산화를 방지하기 위하여 질소기체를 반응물 용액에 항상 불어넣었다.

[0034]

[0035] 셸반응물 농도

[0036] 본 발명의 경우, 상기 셸반응물의 농도는 1.0M을 넘지 않는 것이 바람직하다. 왜냐하면, 셸반응물의 농도가 너무 진하면 코어입자(10)에 셸층(20)이 적층되기 보다는 셸고체의 핵생성이 급격히 증가하고 스스로 응집하는 자기응집(homo-agglomerate)이 발생하기 때문이다. 이렇게 자기응집 현상이 발생하면 균일한 셸층(20)이 형성되지 못하여 바람직하지 않다.

[0037] 코어셀 적층입자(1)는 Ni-rich 코어입자(10)의 높은 전기적 특성(capacity)과 셸층(20)의 전기적 안정성을 결합한 하이브리드 형태의 입자로서 높은 안정성(cycling stability)과 높은 전기용량(capacity)을 갖춘 이상적인 전극재료라 예상할 수 있다. 따라서 셸층(20)의 두께 균일성은 코어셀 적층입자(1)의 전기화학적 특성을 결정하는 가장 중요한 인자라 볼 수 있다.

[0038] 내부회전원통(120) 회전속도의 영향

[0039] 내부회전원통(120)은 100~3000rpm으로 회전되는 것이 바람직하다. 내부회전원통(120)이 너무 느리게 회전하면 쿠에트-테일러 와류(171)의 유동강도가 충분하지 않아 균일한 적층을 유도하지 못하고 오히려 셸고체의 자기응

집(homo-agglomeration)이 야기되어, 내부회전원통(120)의 회전속도가 100rpm보다 더 느릴 경우에는 셀층(20)이 제대로 형성되지 않고, 내부회전원통(120)이 3000rpm 이상으로 회전하면 쿠에트-테일러 와류(171)의 전단강도에 의하여 셀층(20)이 깎여 나가버리는 성향이 너무 커져 셀층(20)의 두께증가가 미미하기 때문에 실효성이 없어서 이다.

[0040] 셀반응물의 평균체류시간

[0041] 셀반응물 유입구(150)로 투입된 셀반응물이 생성물 유출구(160)로 외부 배출되기 전까지 유체통로(170)에 체류하는 평균체류시간은 30~90분인 것이 바람직하다. 평균체류시간이 너무 짧으면 셀층(20)이 코어입자(10)에 적층되지 않고 자기응집되기 때문이며, 평균체류시간이 90분 이상에서는 평균체류시간의 증가에 따른 탭밀도(tap-density)의 변화가 미미하기 때문이다.

[0042] 셀반응물의 pH

[0043] 셀반응물은 pH가 11~13인 것이 바람직하다. 이는 pH가 이들 범위에서 멀어질수록 셀고체의 자기응집(homo-agglomeration)이 발생되어 셀층(20)이 형성되지 않기 때문이다.

[0044] 도 4는 본 발명에 의해 제조된 코어셀 적층입자(1)의 전자현미경 사진으로서, 셀반응물의 농도가 0.9M, 내부원통((120)의 회전속도가 1000rpm, 셀반응물 유입구(150)로 투입된 셀반응물이 생성물 유출구(160)로 외부 배출되기 전까지 유체통로(170)에 체류하는 평균체류시간을 60분, 셀반응물의 pH가 11~13인 경우에 대해 얻어진 것이다. 이 경우에 대해 EDX 분석을 함으로써 코어입자(10)는 Ni 90.4 중량wt%, Mn 4.9 중량wt%, Co 4.7 중량wt%의 조성을 가지고, 셀층(20)은 Ni 중량48.3%, Mn 중량45.7%, Co 6.6%의 조성을 가짐을 확인할 수 있었다.

[0045]

[0046] 상술한 바와 같이 본 발명에 의하면, 하나의 쿠에트-테일러 결정화기(100)에서 코어입자(10)와 셀층(20)을 연속적으로 생성시킴으로써 손쉽게 대량생산을 도모할 수 있다. 또한 쿠에트-테일러 결정화기의 유로통로가 종래의 임펠러 유동방식의 경우와 달리 좁으면서도 활발한 유체유동을 가지므로 균일한 크기의 입자를 생성시킬 수 있게 된다. 그리고 셀반응물 농도, 내부회전원통(120)의 회전속도, 셀반응물의 평균체류시간, 셀반응물의 pH에 의해 셀층(20)의 형성이 민감하게 영향을 받으므로 위에서 언급한 적절한 공정 조건을 통하여 전기적 특성과 내구성이 우수한 코어셀 적층입자(1)를 대량으로 쉽게 얻을 수 있다.

부호의 설명

[0047] 1: 코어셀 적층입자

10: 코어입자

20: 셀층

100: 연속식 쿠에트-테일러 결정화기

110: 외부고정원통

120: 내부회전원통

130: 모터

131: 회전축

140: 코어반응물 유입구

141, 151: 금속성 수용액 유입구

142, 152: 염기성 수용액 유입구

143, 153: 암모니아 수용액 유입구

150: 헬반응물 유입구

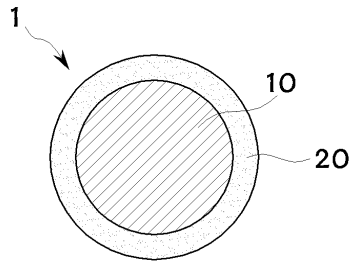
160: 생성물 유출구

170: 유체통로

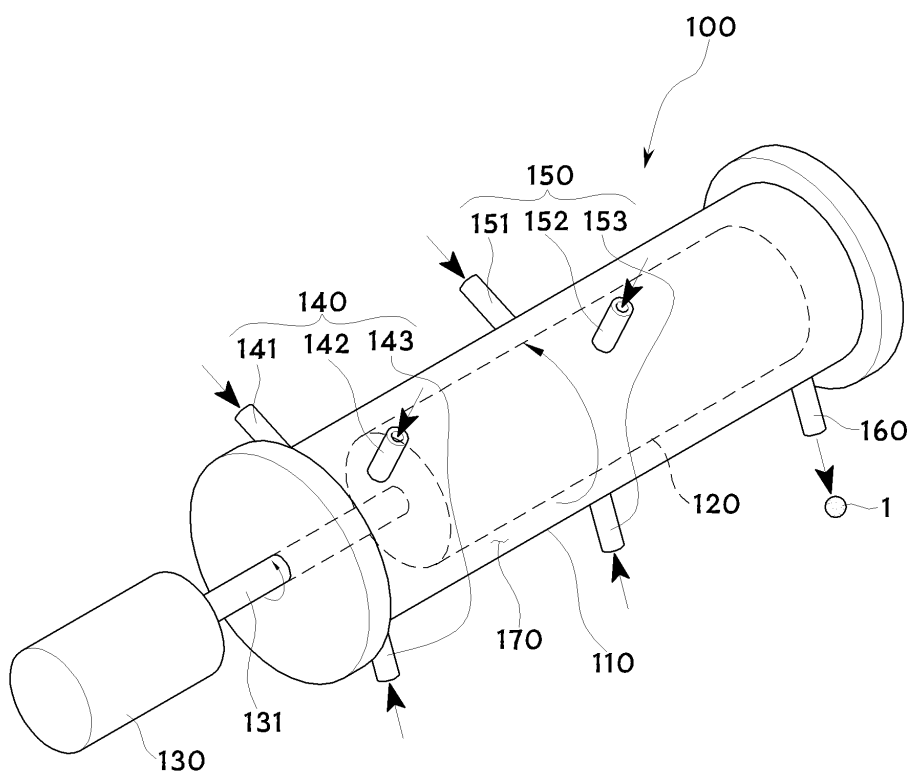
171: 쿠에트-테일러 와류

도면

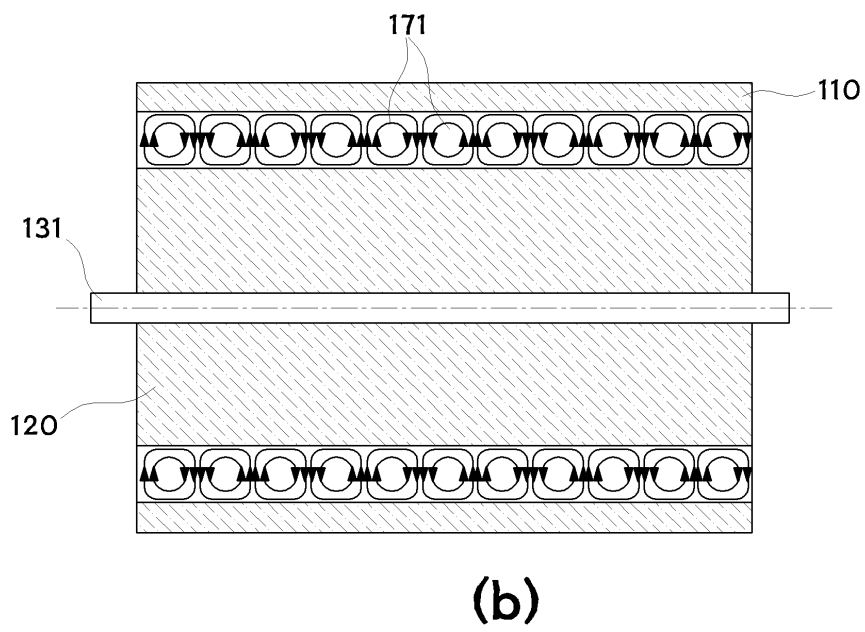
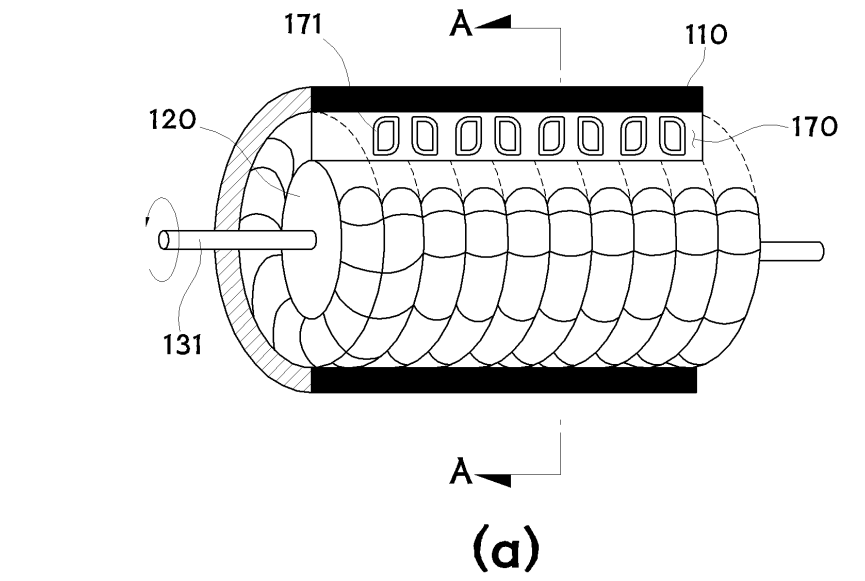
도면1



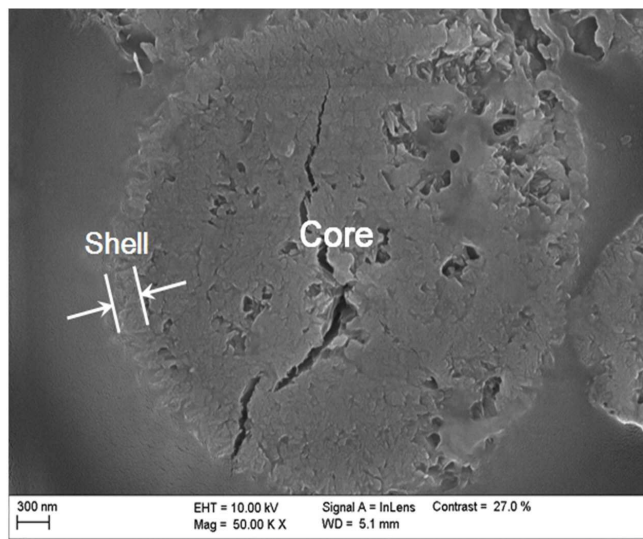
도면2



도면3



도면4



< Core 조성 >

Matrix Correction: ZAFElement	Wt%	At%
NiL	90.44	90.97
MnK	04.91	04.46
CoK	04.65	04.57

< Shell 조성 >

Matrix Correction: ZAFElement	Wt%	At%
NiL	48.34	47.97
MnK	45.07	46.56
CoK	6.59	5.47