



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년06월24일
(11) 등록번호 10-0904492
(24) 등록일자 2009년06월17일

(51) Int. Cl.

C08J 3/28 (2006.01) C08F 8/00 (2006.01)

C08F 2/54 (2006.01) B05D 3/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-7002179

(22) 출원일자 2006년01월31일

심사청구일자 2007년07월03일

번역문제출일자 2006년01월31일

(65) 공개번호 10-2006-0052960

(43) 공개일자 2006년05월19일

(86) 국제출원번호 PCT/US2004/023519

국제출원일자 2004년07월23일

(87) 국제공개번호 WO 2005/013288

국제공개일자 2005년02월10일

(30) 우선권주장

10/630,785 2003년07월31일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

KR1019990037446 A*

US4511596 A

WO200102102 A1

WO200112736 A1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

이온빔 어플리케이션스 에스.에이.

벨기에, 비-1348 루바인-라-네우베, 케민 두 사이
클로트론 3

(72) 발명자

켈루케 데이비드 알

캐나다 온타리오 케이원씨 원씨세븐 올리안즈 선
다운 크레스 6262

겔로웨이 리차드

미합중국 뉴욕 11730 이스트 아이스립 디비전 애
버뉴 72

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

이덕록

전체 청구항 수 : 총 26 항

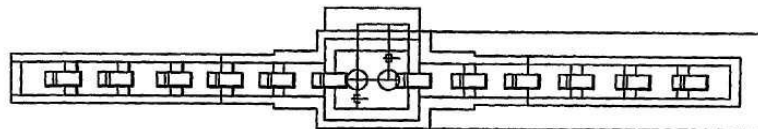
심사관 : 원용준

(54) 고에너지 전자 빔 또는 엑스-레이를 이용하여 자동차 차체상의 코팅을 경화시키는 방법

(57) 요약

본 발명은 중고전력(1 kW 이상) 및 중고에너지(1 MeV 이상) 전자 빔 또는 엑스-레이를 두껍고 복잡한 삼차원의 자동차 차체의 코팅을 보호하기 위해 사용하는 것과 관련한 것이다. 중고전력, 중고에너지는 충분한 작업처리량을 가지고 강철의 다수개의 층을 통과해 보호할 수 있는 관통 능력을 가지므로, 자동차 차체의 굽은 부위, 접힌 부위 및 굴곡부에 의해 발생된 쉐도우(shadow) 부분을 관통할 수 있다. 더 나아가, 중고전력, 중고에너지 빔은 충분한 작업처리량을 가지고, 표면에 틈이나 균열을 축적한 더 두꺼운 코팅을 보호하기 위하여 관통 능력을 가진다. 본 발명은 전자 빔 보호 코팅의 용도를 가능케 하고 이에 따라 자동차 산업에서 일반적으로 사용하는 페인트의 용매로 이용되는 비반응성 용매와 관련된 화재 위험과, 위험한 대기 오염원과, 휘발성의 유기물질들을 감소시키게 된다.

대표도 - 도1A



(72) 발명자

클리랜드 마샬 알

미합중국 뉴욕 11788 하우페이지 리틀 레인 20

발머 빅터 알

미합중국 캘리포니아 92069 레이크 산 마르코스 라
레이나드라이브 1009

특허청구의 범위

청구항 1

(i) 하나 이상의 전자 빔 경화성 코팅으로 자동차 차체를 코팅하는 단계; 및

(ii) 자동차 차체를 하나 이상의 1 kW 이상의 중고전력(medium to high power), 1 MeV 이상의 중고에너지 전자 빔(medium to high energy electron beams)을 일 회 이상 통과시키되, 여기서 하나 이상의 전자 빔이 자동차 차체를 통과해 관통할 수 있어서 상기 전자 빔의 시선(line of sight) 밖 코팅부를 경화시키는 단계를 포함하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 자동차 차체는 하나 이상의 80 kW 이상의 고전력, 5 MeV 이상의 고에너지 전자 빔을 일 회 이상 통과시키는 것을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 자동차 차체는 연속적인 컨베이어 시스템에 의해, 하나 이상의 엑셀레이터에 의해 발생된 1 MeV 이상의 중고에너지 전자 빔을 자동차 차체의 반대편에 전달하는 다수의 전자 빔 스캐닝 장치들(unit s)이 있는 바울트(vault) 안을 통과하는 것을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 4

제 3항에 있어서, 상기 자동차 차체는 바울트를 통과해서 수차례 통과하는 것을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 5

제 1항에 있어서, 단일 전자 빔 엑셀레이터와 스캐닝 장치가 사용되고, 연속적인 컨베이어는 바울트를 통과해서 이동함에 따라 빔을 향하도록 자동차 차체를 기울이는 것을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 6

제 5항에 있어서, 상기 자동차 차체는 바울트를 수차례 통과하는 것을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 7

제 1항에 있어서, 상기 자동차 차체는 일렉트로코트(electrocoat), 프라이머(primer), 베이스코트(basecoat) 및 클리어 코트(clear coat)로 코팅되어져 있는 것을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 8

제 7항에 있어서, 상기 베이스코트는 전자 빔 경화성 코팅임을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 9

제 1항에 있어서, 상기 전자 빔 경화성 코팅은 불포화 올리고머 또는 폴리머임을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서, 상기 전자 빔 경화성 코팅은 아크릴레이트(acrylate) 기능기의 올리고머 또는 폴리머임을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 11

(i) 하나 이상의 엑스-레이 경화성 코팅으로 자동차 차체를 코팅하는 단계; 및

(ii) 자동차 차체를 1 kW 이상의 중고전력, 1 MeV 이상의 중고에너지 전자 빔으로 금속 타겟(target)을 때림으로써 발생된 하나 이상의 엑스-레이 필드(field)를 일 회 이상 통과시키되, 여기서 하나 이상의 엑스-레이 필드가 자동차 차체를 통과해 관통할 수 있어서 상기 엑스-레이 필드의 시선(line of sight) 밖 코팅부를 경화시키는 단계를 포함하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 12

제 11항에 있어서, 상기 자동차 차체는 80 kW 이상의 고전력, 5 MeV 이상의 고에너지 전자 빔으로 금속 타겟을 때림으로써 발생된 하나 이상의 엑스-레이 필드를 일 회 이상 통과하는 것을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 13

제 11항에 있어서, 상기 자동차 차체는 컨베이어에 의해서 자동차 차체가 단일의 엑스-레이 필드로 둘러싸이는 바울트(vault)를 통과하는 것을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 14

제 13항에 있어서, 상기 자동차 차체는 수차레 바울트를 통과하는 것을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 15

제 11항에 있어서, 상기 자동차 차체는 컨베이어에 의해서 자동차 차체가 다수의 엑스-레이 필드들로 둘러싸이는 바울트를 통과하는 것을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 16

제 15항에 있어서, 상기 자동차 차체는 수차레 바울트를 통과하는 것을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 17

제 11항에 있어서, 상기 자동차 차체는 일렉트로코트(electrocoat), 프라이머(primer), 베이스코트(basecoat) 및 클리어 코트(clear coat)로 코팅되어져 있는 것을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 18

제 17항에 있어서, 상기 베이스코트는 엑스-레이 경화성 코팅임을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 19

제 11항에 있어서, 상기 엑스-레이 경화성 코팅은 불포화 올리고머 또는 폴리머임을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 20

제 19항에 있어서, 상기 엑스-레이 경화성 코팅은 아크릴레이트 기능기의 올리고머 또는 폴리머임을 특징으로 하는 자동차 차체 상에 하나 이상의 코팅들을 경화시키기 위한 방법.

청구항 21

(i) 하나 이상의 전자 빔 경화성 코팅 또는 엑스-레이 경화성 코팅으로 물체를 코팅하는 단계; 및

(ii) 상기 물체를 하나 이상의 1 kW 이상의 중고전력, 1 MeV 이상의 중고에너지 전자 빔이나 엑스-레이 필드를

일 회 이상 통과시키되, 여기서 하나 이상의 전자 빔 또는 엑스-레이 필드가 시트 소재(sheet material)의 다수개의 층을 통과해 관통할 수 있어서 상기 전자 빔 또는 엑스-레이 필드의 시선(line of sight) 밖 코팅부를 경화시키는 단계를 포함하는 삼차원 구조로 굴곡지어 있거나, 구부러져 있거나 접혀 있는 시트 소재로 제조되어진 물체 상에 하나 이상의 코팅을 경화시키기 위한 방법.

청구항 22

제 21항에 있어서, 상기 시트 소재가 0.4mm 이상 강철의 등적밀도(equivalent area density)를 갖는 것임을 특징으로 하는 삼차원 구조로 굴곡지어 있거나, 구부러져 있거나 접혀 있는 시트 소재로 제조되어진 물체 상에 하나 이상의 코팅을 경화시키기 위한 방법.

청구항 23

제 22항에 있어서, 상기 시트 소재는 강철 시트임을 특징으로 하는 삼차원 구조로 굴곡지어 있거나, 구부러져 있거나 접혀 있는 시트 소재로 제조되어진 물체 상에 하나 이상의 코팅을 경화시키기 위한 방법.

청구항 24

(i) 삼차원 구조로 굴곡지어 있거나, 구부러져 있거나 접혀 있는 시트 소재로 제조되어지고, 하나 이상의 전자 빔 또는 엑스-레이 경화성 코팅으로 코팅된 하나 이상의 물체; (ii) 상기 하나 이상의 물체를 전자 빔 또는 엑스-레이 필드를 통과시키기 위한 컨베이어 시스템; 및 (iii) 전자 빔 또는 엑스-레이 필드의 시선(line of sight) 안에 있지 않은 코팅부를 경화시키기 위하여 상기 시트소재의 다수개의 층을 통과하여 관통할 수 있는, 하나 이상의 1 kW 이상의 중고전력, 1 MeV 이상의 중고에너지 전자 빔 또는 엑스-레이 필드를 발생시킬 수 있는 하나 이상의 엑셀레이터를 포함하는 장치.

청구항 25

제 24항에 있어서, 상기 시트 소재가 0.4mm 이상 강철의 등적밀도를 갖는 것임을 특징으로 하는 장치.

청구항 26

제 25항에 있어서, 상기 시트 소재는 강철 시트임을 특징으로 하는 장치.

명세서

기술분야

- <1> 본 발명은 코팅을 경화시키기 위한 중고전력(medium to high power), 중고에너지(medium to high energy) 전자 빔(electron beam) 또는 엑스-레이(X-ray)의 용도에 관한 것이다. 더욱 상세하게는, 본 발명은 자동차 차체와 같은 비교적 두껍고 복잡한 삼차원의 물체 상의 코팅을 경화시키기 위한 중고전력, 중고에너지 전자 빔 또는 엑스-레이의 용도에 관한 것이다.

배경기술

- <2> 코팅제의 주성분은 용매, 바인더와 선택적으로 안료(pigment), 첨가제(additives) 및 증량제(extenders)이다. 용매는 다른 성분들을 분산시키고 쉽고, 매끄럽고 균일하게 바르기 위하여 점도를 감소시키기 위하여 첨가된다. 과거에는, 코팅제의 70% 가량이 용매로 제조되어졌다. 가장 널리 사용된 유기 용매는 톨루엔, 자일렌, 메틸 에틸 케톤 및 메틸 이소부틸 케톤이다.
- <3> 코팅제 용매의 이용은 주요한 환경 문제였다. 유기 용매는 상온상압에서 휘발한다. 그러므로, 일상적인 페인트 칠을 하는 동안(예를 들면, 페인트가 스프레이어에 의해 분무되어질 때), 경화(curing)하는 동안 그리고 정돈(cleanup)하는 동안에 용매의 증기가 방출되게 된다. 용매 증기는 위험한 화재요인이다. 더 나아가, 용매 증기는 중요한 건강상의 위험요인인 위험 대기 오염물질(hazardous air pollutants, HAPs)를 포함한다. 게다가, 용매 증기는 일광(sunlight) 존재하에 광화학작용을 하는 오존이나 스모그를 발생시키기 위하여 산화질소류(NOx)와 반응하는 휘발성의 유기 화합물(VOCs)을 포함 및/또는 발생시킨다.
- <4> 1991년에, 전체 VOC 방출량의 11%가 표면 코팅제의 작용 결과라고 생각되어졌다(U.S. Environmental Protection Agency, *National Air Pollutant Emission Estimates*, 1990-1991, October 1992 참조). 이러한 문

제점을 제거하기 위하여, 1996년에 발효된 1990 Clean Air Act는 더 낮은 VOCs의 방출량을 요구한다. 더 나아가, 다수의 다른 연방, 주(state) 그리고 지역 규제들이 VOC 방출량을 제한한다. 이러한 규제들을 따르는 것은 페인트 설비에 현저한 원가를 들게 한다.

<5> 자동차 코팅의 주요 기능은 외관, 외부 내구성 및 부식 보호 기능을 향상시키기 위한 것이다. 자동차 코팅은 강철 차체에, 폴리머 및/또는 합성 물질로 형성되어질 수 있는 수개의 부분들이 다수개의 층으로 이루어져 있다. 현재, 전형적인 방식은 차체를 인산화 아연이나 유사한 부식 억제제로 처리하고, 네개의 부가적인 코팅제로 처리하는 것이다. 첫째, 수계 음극 일렉트로코트(water based cathodic electrocoat, e-coat)를 차체에 바르는 것이다. 둘째, 프라이머 서페이스서(primer surfacer)를 상기 일렉트로코트 위에 바르는 것이다. 셋째, 칼라 베이스 코트를 바르는 것이다. 일반적으로, 이것은 수인성 페인트(water-borne paint)를 사용하여 행해지나, 수인성 페인트는 여전히 용매를 포함하고 있다. 넷째, 마지막으로 클리어 코트(clear coat)를 용매계 매체(solvent based medium)를 이용하여 바른다. 상기 코팅들은 연속적인 오븐 안에서 굽는 공정을 통해 경화된다.

<6> 미국내 자동차 페인트 설비들은 VOCs를 감소시키기 위한 경감 장치를 배치하고 있다. 경감 장치는 페인트 설비의 총 투자액의 10%에 상당할 수 있다. 경감 장치는 생산되는 차량에 대한 어떠한 가격을 더하지 않고 수백만 달러의 고가 비용을 추가시킨다. 게다가, 경감 장치는 에너지를 소비하고, 금지되지는 않지만, 이롭지 않는 산화질소류(NOx)를 생산한다. 상기에서 기술한 조치들과 다른 조치들을 통해, 자동차 회사들은 1960년대 이후로 페인팅 작업시 대략 80%의 방출을 감소시켰다. 그러나, 쉬운 방법들은 해결되어졌고 필요하지만 VOC를 더욱 감소시키는 것은 더 어려워질 것이다.

<7> 방사선(radiation) 경화 코팅은 알려져 있다. 자외선(UV)과 저에너지 전자 빔 기술들은 음료 캔, 잡지 및 복권 티켓을 포함하는 소규모 공업 및 상업적 생산품들 상의 얇은 페인트와 코팅을 경화시키기 위해 수년 동안 사용되어져 왔다. 일반적으로, 방사선 경화 코팅은 특별히 기질 상에 직접적으로 조제되어진 코팅에서 자유라디칼이나 양이온 중합반응을 개시한다. 비반응성 용매는 방사선 경화 코팅제에 사용되지 않으므로 코팅제는 100% 반응성 액체가 될 수 있다. 몇몇의 방사선 경화 코팅제는 휘발되어 제한된 VOC 방출량의 결과를 가져오지만, 그러한 방출은 상대적으로 적고 자주 있지 않다.

<8> 전자 빔 경화 코팅은 전자로 코팅에 충격을 가함으로써 경화시킨다. UV 경화 코팅에 대비할 때, 전자 빔 경화 코팅은 전자 충격 자체가 자유 라디칼을 생성시키기에 충분한 에너지를 공급하기 때문에 광개시제(photoinitiator)를 필요로 하지 않는다. 더 나아가, 전자 빔 경화는 불투명함이나 염색에 의해 영향을 받지 않는다.

<9> 불행스럽게도, 전자 빔 경화 코팅은 상대적으로 편평한 표면상의 얇은 코팅을 경화하는데 제한되어져 왔다. 이것은 종래 입수할 수 있는 전자 빔 엑셀레이터의 성질이 낮은 전력이나 낮은 에너지 엑셀레이터들 중 하나이기 때문이다. 낮은 전력 엑셀레이터(예를 들면 1 kW 미만)는 낮은 전력이 제한된 작업처리량 속도를 의미하기 때문에 매우 유용하지 않다. 다른 요인들이 동일할 때, 200 kW 엑셀레이터는 50 kW 엑셀레이터에 비해 시간당 4배량을 처리한다. 낮은 에너지 엑셀레이터(예를 들어 50 내지 300 keV)는 낮은 에너지가 낮은 전자 관통 능력을 의미하기 때문에 사용에 제한이 된다. 비록 정확한 관통 능력이 밀도에 따라 변화되지만, 이것은 일반적으로 300 keV에서 0.5 밀리미터(millimeters) 미만에 관계되거나 MeV당 3 내지 4 밀리미터의 플라스틱 소재 관통 능력에 관계된다. (엑셀레이터의 빔 윈도우에서의 에너지 손실 때문에 전자 관통 능력이 낮은 에너지에서 전자 빔 에너지에 직접적으로 비례하지 않는다는 점에 유의하라.) 그러한 관통 능력은 단지 매우 얇은 필름의 경화시의 시선(line of sight)에만 적합할 수 있다. 상기 전자(electrons)는 생산품에 있는 굽은 부분, 굴곡 부분 및 접힌 부분에 의해 가려진 표면에 닿도록 강철판의 다수개의 층을 관통할 만큼 충분한 에너지를 가지지 않는다. 상기 전자는 틈과 균열에 형성된 필름의 더 두꺼운 부분을 관통할 만큼 충분한 에너지를 가지지 않는다. 그래서, 상업적인 전자 빔은 두께가 다양한 크고 복잡한 삼차원의 강철 표면을 가진 자동차 차체 상의 필름을 경화하는데 사용돼 오지 않았다.

<10> 어드벤스드 일렉트론 빔스 아이엔시(Advanced Electron Beams Inc., AEB)는 최근 종래 페인트 라인들(lines)을 대체할 자동차 산업에 사용될 저에너지 전자 빔 장치를 제안했다. Electron Beams For Everyone, BusinessWeek, pp. 95-96, May 26, 2003 참조. 그러나, AEB의 장치는, 상대적으로 작은 반면(80 내지 120 keV 및 가능한 더 낮은), 이전 장치와 동일한 저에너지 약점을 가진다. 그래서, 단지 시선 부위만을 경화시킬 수 있는 것이다.

<11> 고에너지 전자로 고밀도 타겟에 충격을 줌으로써 발생시킨 엑스-레이로 물건을 생산하는 개념은 25년 이상 전에 제안되었다. 엑스-레이는 전자보다 더 큰 물질을 관통하는 능력을 가진다. 그러나, 이러한 개념은 적당한 엑스-

레이 전력을 생산하기 위하여는 상대적으로 높은 전자 빔 전력이 요구되기 때문에 상업적으로 거의 주의를 끌지 못했다. 전자를 엑스-레이로 변환하는 과정은 매우 비효율적이다(예를 들면, 전자 빔 에너지의 15% 이하가 10 MeV 미만임).

- <12> 1990년대 중반에, 이온 빔 어플리케이션스, 에스.에이(Ion Beam Applications, S.A., IBA)는 혁명적인 중고전력, 중고에너지 전자 빔 엑셀레이터류를 고안해냈다. 로도트론(Rhodotron)[®] TT 100은 10 MeV(3.5 mA)에서 35 kW까지 발생시킨다. 로도트론(Rhodotron)[®] TT 200은 10 MeV(10 mA)에서 100 kW까지 발생시키고, 5 MeV(20 mA)에서 100 kW까지 발생시킨다. 로도트론(Rhodotron)[®] TT 300은 10 MeV(20 mA)에서 200 kW까지 발생시키고, 5 MeV(27 mA)에서 135 kW까지 발생시킨다. 로도트론(Rhodotron)[®] TT 200과 TT 300을 위한 빔 전력은 연속적인 산업 서비스를 위해 각각 80 kW 및 150 kW까지 보증한다. IBA가 세우고(built), 마지막 테스트 단계에 있는, 세계 최초 고전력 공업 엑셀레이터인 로도트론(Rhodotron)[®] TT 1000은 7 MeV에 700 kW의 비율을 가진다. 엑셀레이터의 로도트론(Rhodotron)[®] 류는 미국특허 제 5,107,221호에 개시되어져 있다.

발명의 상세한 설명

- <13> 발명의 요약
- <14> IBA에 의해 생산된 것과 같은, 중고전력, 중고에너지 전자 빔의 새로운 세대(generation)는 충분한 작업처리량을 가지며, 자동차 차체와 같은 복잡한 삼차원의 표면을 가지는 크고 두꺼운 물체 상에 있는 코팅을 경화시키기 위한 관통 능력을 가진다. 따라서, 본 발명의 목적은 (i) 적어도 하나의 전자 빔 경화 코팅으로 자동차 차체를 코팅하는 단계; 및 (ii) 하나 이상의 중고전력, 중고에너지 전자 빔을 통과하도록 상기 자동차 차체를 일 회 이상 이동시키는 단계를 포함하는 자동차 차체 상의 하나 이상의 코팅을 경화시키기 위한 방법을 제공하는 것이다.
- <15> IBA의 중고전력, 중고에너지 엑셀레이터들, 특별히 가장 최신의 TT 1000 엑셀레이터(7 MeV에 700 kW의 비율을 가짐)는 자동차 차체 상의 코팅을 경화시키기 위한 실용적인 대안인 많은 량의 엑스-레이를 발생시킨다. 엑스-레이는 전자보다 대략 10배까지 더 깊은 두께의 필름을 관통한다. 따라서, 본 발명의 또 다른 목적은 (i) 적어도 하나의 엑스-레이 경화 코팅으로 자동차 차체를 코팅하는 단계; 및 (ii) 중고전력, 중고에너지 전자 빔으로 금속 타깃을 때림으로써 발생된 하나 이상의 엑스-레이 필드를 통과하도록 상기 자동차 차체를 이동시키는 단계를 포함하는 자동차 차체 상의 하나 이상의 코팅을 경화시키기 위한 방법을 제공하는 것이다.
- <16> 본 발명은 중고전력, 중고에너지 전자 빔을 사용한다. 본 발명에서 전형적으로 사용하는 전자 빔은 최소한 1 MeV, 바람직하게는 최소한 3 MeV, 더욱 바람직하게는 최소한 5 MeV 그리고 10 내지 12 MeV의 에너지를 가진다. 이는 전형적으로 50 내지 300 keV 범위의 에너지를 가지는 코팅 분야에서 사용하는 상업적인 저에너지 빔보다 월등히 높은 에너지이다. 본 발명에서 전형적으로 사용하는 전자 빔은, 최소한 하나의 장치에서, 최소한 1 kW, 바람직하게는 최소한 10 kW, 더욱 바람직하게는 35 kW, 더더욱 바람직하게는 최소한 80 kW, 이상적으로는 최소한 150 kW 그리고 200 kW 내지 700 kW의 가능한 전력 출력을 가진다.
- <17> 본 발명의 방법은 많은 장점을 가진다. 첫째, 전자 빔 및 엑스-레이는 자동차 코팅 산업에서 사용하는 비반응성 용매를 사용하지 않아도 되거나 사용을 줄일 수 있게 한다. 둘째, 전자 빔과 엑스-레이는 즉각적인 개시와 정지를 가능하게 할 뿐만 아니라 차체당 일분 미만으로 매우 빠른 경화 작업을 가능케 한다. 셋째, 전자 빔과 엑스-레이 경화 코팅은 저온 공정이다. 넷째, 방사선 경화 코팅은, 코팅체들이 단일 성분 시스템이기 때문에 하나의 부류처럼, 더 긴 저장기간(shelf life)과 더 긴 가사시간(pot life)을 가지는 경향을 나타낸다. 다섯째, 상기와 같은 이유로, 방사선 경화 코팅은 더 좋은 경도, 용매 저항성, 염색 저항성 및 마모 저항성을 보여주는 경향을 나타낸다. 방사선 경화 코팅체의 더 낮은 휘발성을 가지는 성분은 또한 더 좋은 광택, 더 훌륭한 구조 그리고 더 낮은 수축성(shrinkage)을 준다. 여섯째, 전자 빔 엑셀레이터는 열오븐(thermal ovens)과 비교했을 때 더욱 에너지 효율적이다. 일곱째, 전자 빔 엑셀레이터는 종래 열오븐보다 바닥 면적(floor space)을 덜 요구하고, 전자 빔 경화 설비(electron beam curing facilities)의 주요 경비는 오븐 경화 설비(oven curing facilities)와 유사하다.
- <18> 비록 본 발명이 자동차 차체 상의 코팅 경화의 내용을 대부분 기술하고 있지만, 본 발명에서 해결하고자 하는 다른 커다란 삼차원의 물체를 코팅할 때에도 유사한 결과를 가져오므로 이에 한정되지 않는다. 따라서, 본 발명의 또 다른 목적은 (i) 적어도 하나의 전자 또는 엑스-레이 경화 코팅으로 물체를 코팅하는 단계; 및 (ii) 적어

도 하나의 전자 빔 및/또는 엑스-레이 필드가 상기 빔이나 필드의 명백한 시선 내에 있지 않은 코팅부를 경화시키기 위해 시트 소재의 다수개의 층을 통과하도록 관통할 수 있는, 하나 이상의 중고전력, 중고에너지 전자 빔 또는 엑스-레이 필드를 통과하도록 일 회 이상 상기 물체를 이동시키는 단계를 포함하는 삼차원 구조로 굴곡지거나, 굽어지거나 접힌 시트 소재로 제조되어진 물체 상의 하나 이상의 코팅을 경화시키기 위한 방법을 제공하는 것이다. 일 실시예로, 시트 소재는 3mm 플라스틱 소재가 가지는 등가 영역 밀도(equivalent area density)와 같거나 더 큰 등가 영역 밀도(예를 들면, 부피 밀도에 의해 곱해진 두께)을 가진다. 다른 실시예에서, 시트 소재는 0.4mm 강철이 가지는 등가 영역 밀도와 같거나 더 큰 등가 영역 밀도를 가진다.

<19> 본 발명의 또 다른 목적은 상기에서 기술한 방법 중 어느 하나의 방법을 수행하는 장치를 제공하는 것이다. 따라서, 본 발명은 (i) 삼차원 구조로 굴곡지거나, 굽어지거나 또는 접힌 시트 소재로 제조되어지고, 하나 이상의 전자 빔 또는 엑스-레이 경화 코팅으로 코팅된 하나 이상의 물체; (ii) 상기 하나 이상의 물체를 전자 빔 및/또는 엑스-레이 필드를 통과하도록 이동시키기 위한 컨베이어 시스템; 및 (iii) 상기 빔 또는 필드의 시선 내에 있지 않은 코팅부를 경화시키기 위하여 상기 시트 소재의 다수개의 층을 통과하도록 관통할 수 있는 하나 이상의 중고전력, 중고에너지 전자 빔 및/또는 엑스-레이 필드를 발생시킬 수 있는 하나 이상의 엑셀레이터를 포함하는 장치(plant)를 포함한다.

<20> 본 발명의 다른 목적은 하기에 기술하는 상세한 설명에 의해 당업자에게 명백할 것이다.

실시예

<36> 정의

<37> 여기에서 사용되는 것처럼, 하기 용어들은 하기 의미를 가지는 것으로 간주된다.

<38> “저에너지”는 1 MeV 미만, 전형적으로 100 내지 300 keV를 의미한다.

<39> “중에너지”는 최소한 1 MeV 그러나 5 MeV 미만임을 의미한다.

<40> “고에너지”는 5 MeV 이상을 의미한다.

<41> “중고에너지”는 최소한 1 MeV를 의미한다.

<42> “저전력”은 1 kW 미만을 의미한다.

<43> “중전력”은 최소한 1 kW 그러나 80 kW 미만임을 의미한다.

<44> “고전력”은 80 kW 이상을 의미한다.

<45> “중고전력”은 최소한 1 kW임을 의미한다.

<46> 본 발명에서 번갈아가며 사용된 “자동차 차체(auto body, automobile body, automotive body)”, “수송수단 차체(vehicle body)” 및 “차 차체(car body)”는 차(car), 트럭, 버스, 오토바이, 트랙터 또는 다른 자동 운송 수단의 주요한 일부로서 언급되는 것이며, 상기 자동 운송 수단은 적어도 프레임 또는 셸(shell)은 포함하나 문(doors), 후드(hood), 트렁크, 차축(axles) 등등의 다른 부분들은 선택적으로 포함한다. 자동차 차체는 전형적으로 강철로 제조되어지나, 알루미늄, 폴리머(플라스틱 및 고무), 유리섬유, 탄소섬유, 복합체(composites) 및 심지어 나무를 포함하는 다른 물질들이 상호교환되어 사용되어지거나 강철과 혼합되어 사용되어 제조되어진다.

<47> 본 발명에서 사용하는 “쉐도우(shadows)” 및 “쉐도잉(shadowing)”은 생산품 표면상의 굴곡, 굽은 부위 및 접힌 부위로 인하여 주어진 시선을 따라 보이지 않는 생산품의 표면상의 영역을 의미한다.

<48> 본 발명에서 사용하는 “코팅(coating)”은 일반적으로 보호 및/또는 장식의 목적으로 물체의 표면상에 펼쳐 바른 하나 또는 그 이상의 커버층을 의미한다.

<49> “페인트(paint)”는 색을 나타내기 위하여 최소한 일부분이라도 더해진 코팅부를 의미한다.

<50> “시선(line of sight)”은 주어진 방향에서 주어진 영역을 볼 수 있는 능력을 의미한다. 전자빔 및 또는 엑스-레이로 경화 코팅한 부위에서, 주어진 방향은 전자빔 또는 엑스-레이 필드가 나오는 지점(output point)이다.

<51> “등적밀도(equivalent area density)”는 체적 밀도를 곱한 물질의 두께를 의미한다.

<52> 개요

<53> 중고전력, 중고에너지 공업용 전자 엑셀레이터, 전자 빔 기술의 도래로 이제 자동차 차체 상의 페인트 및 코팅을 경화하는데 이들을 사용할 수 있게 되었고 이로 인해, 경화속도를 증가시키고, 공장 바닥 면적을 감소시키며, 휘발성 성분의 방출을 감소시킬 뿐만 아니라 에너지 소비를 감소시키게 되었다. 전자 빔은 강철판 상의 코팅을 경화시키는데 적합할 뿐만 아니라, 또한 경화하는 동안 수반되는 저온으로 인하여 열가소성의 판 상에 있는 코팅을 경화시키는데도 적합하다. 본 발명에서는, 자동차 차체 상의 하나 이상의 코팅부를 경화시키기 위한, 하나 이상의 전자 빔 또는 엑스-레이를 생산하기 위하여 최소한 하나의 중고전력, 중고에너지 엑셀레이터를 사용한다.

<54> 현재, 자동차 산업의 전형적인 방식은 차체를 인산화 아연(zinc phosphate), 또는 유사한 부식 억제제로 처리한 다음, 4개의 추가적인 코팅제를 처리하는 것이다. 첫째, 수계 음극 일렉트로코트(water based cathodic electrocoat, e-coat)를 차체에 바르는 것이다. 둘째, 프라이머 서페이스(primer surfacer)를 상기 일렉트로코트 위에 바르는 것이다. 셋째, 칼라 베이스 코트를 바르는 것이다. 일반적으로, 이것은 수인성 페인트(water-borne paint)를 사용하여 행해지나, 수인성 페인트는 여전히 용매를 포함하고 있다. 넷째, 마지막으로 클리어 코트(clear coat)를 용매계 매체(solvent based medium)를 이용하여 바른다. 이러한 코팅제들은 종래 잘 알려져 있으며, 문헌으로 개시되어 있을 뿐만 아니라 BASF 및 PPG를 포함하는 제조품으로 상업적으로 입수가능하다. 특별한 조제법들(formulations)은 자동차 제조사 간에 다소 달라진다.

<55> 바람직한 일렉트로코트는 당업계에 알려져 있으며 상업적으로 입수가능하다. 전자코트(e-coat)는 전착 프라이머(electrodeposition primer)를 의미한다. 일렉트로코트는 거의 40년 동안 알려져 왔고 산업상의 금속 물체 상의 부식 저항성을 증가시키기 위하여 널리 사용되어 왔다. 일렉트로코팅을 하는 동안, 전기적으로 대전된 입자가 전도성의 생산품을 코팅하기 위하여 수계 현탁액(water suspension) 밖으로 침적(deposit)된다. 일렉트로코트는 특정 필름 두께에서 생산품에 적용되고, 이는 적용되는 전압량에 의해 조절되어진다. 침적(deposition)은 스스로 한정되며 적용된 코팅제가 생산품을 전기적으로 절연시킴에 따라 감소된다. 일렉트로코트 고형체들(solids)은 반대 전극에 가장 가까운 영역에 최초로 침적되고, 이러한 영역들이 절연되어짐에 따라, 고형체들은 완벽한 적용범위를 제공하도록 더욱더 우묵하고, 노출되어 있는 금속 영역들로 지나가게 된다. 전형적인 이-코트(e-coats)는 에폭시계 수용성 음극 전착 프라이머(epoxy based aqueous cathodic electrodeposition(CED) primers)이다. 첫 번째 CED 프라이머는 예를 들어 톨루엔 이소시아네이트와 같은 블락트 이소시아네이트(blocked isocyanates)로 경화된 측쇄의 아민기(pendant amine groups)를 가지는 에폰 수지(Epon resin)이었다. 오늘날, 대다수의 CED 프라이머는 경화제로서 옥심-블락트 톨루엔 디이소시아네이트(oxime-blocked toluene diisocyanate)를 사용한다. 적합한 이-코트는 BASF와 PPG와 같은 회사로부터 상업적으로 구입가능하다.

<56> 바람직한 프라이머는 종래 알려져 있고 상업적으로 입수가능하다. 프라이머는 일반적으로 스프레이함으로써 바를 수 있다. 종종, 프라이머는 분말이기도 하다. 주요한 분말형 프라이머 서페이스(urfacer)는 에폭시-폴리에스터이다. 프라이머는 또한 일렉트로-코트일 수도 있다. 예를 들어, PPG는 브라질의 다임러크리슬러(DaimlerChrysler) 공장에서 지난 해 이욕식(two-bath) 일렉트로코트 시스템을 도입한 파워프라임(PowerPrime)을 판매하였다. 파워프라임은, 첫 번째 용액(bath)은 납이 없는(lead-free) 부식-억제 프라이머를 바르고(apply) 두 번째 용액은 풀 바디 안티-칩 프라미어 서페이스(full body anti-chip primer surfacer)를 바르는 투-인-원(two-in-one) 일렉트로코트 프라이머이다. 이러한 과정은 프라이머 코트 상에 스프레이 페인팅하는 과정을 생략할 수 있다.

<57> 바람직한 칼라 베이스 코트는 종래 알려져 있고 상업적으로 입수가능하다. 적합한 베이스 코트는 전형적으로 안료를 포함한다. 베이스 코트의 바인더는 아크릴릭(acrylic) 레진, 알키드(alkyd) 레진, 폴리우레탄 레진, 폴리에스터 레진 및 아미노플라스트(aminoplast) 레진으로부터 선택되어 질 수 있다. 전형적인 베이스 코트는 용매 또는 수인성(waterborne) 폴리에스터 코팅제이다.

<58> 바람직한 클리어 코트, 또는 탑 코트(top coats)는 잘 알려져 있고 니폰 페인트(Nippon Paint)와 같은 제조사로부터 상업적으로 입수가능하다. 클리어 코트는 상기 성분들로부터 페인트 작업을 보호하기 위하여 이용된다. 바람직한 클리어 코트는 아크릴릭(acrylic) 레진, 알키드 레진, 폴리우레탄 레진, 폴리에스터 레진 및 아미노플라스트 레진을 포함한다. 전형적으로, 클리어 코트는 아크릴릭 또는 우레탄 유래의 용매를 포함한다. BASF는 이소시아네이트를 사용하지 않고 우레탄 특성을 제공하는 카바메이트 기능기를 가지는, 하나의 아크릴릭 계 성분인 우레클리어®(Ureclear®) 클리어 코트를 판매한다. BASF는 전하는 바에 의하면 제로-VOC 제품인 자동

차용 분말-슬러리형 클리어 코트를 또한 개발하였다. BASF 분말-슬러리 제품은 메르세데스-벤츠 자동차에 사용되어졌고 미시간대(Michigan)에 있는 저방출 페인트 콘소시엄 테스트 시설에서 시험중이다(GM, Ford 및 다임러 크리스터에 의해 수행되는 협동 R&D 프로젝트).

<59> 바람직한 베이스코트와 클리어코트는 각각 20 내지 50 μ m의 두께이고, 최소한 1 g/cm²의 밀도를 가진다. 자동차 차체가 복잡하고 기하학적인 형상을 가지고 있기 때문에, 코팅을 경화시키는데 필요한 모든 시선을 만드는데 충분하도록 저에너지 전자빔 내에서 자동차를 이동시키기는 매우 어렵다. 저에너지 전자의 대기중 짧은 도달 거리(short range)는 이러한 어려움을 더욱 증가시킨다. 더욱이, 저에너지 빔은 표면의 틈이나 균열에 자연적으로 발생하는 상대적으로 두꺼운 코팅 일부를 경화시키는데 필요한 관통능력이 부족하다. 훨씬 더 높은 에너지가 요구되어지는데, 특별히 섀도우드(shadowed) 페인트 표면을 경화시키기 위하여 자동차 강철 차체의 하나 이상의 두꺼운 부분(예를 들어, 0.8 mm 두께, 밀도 7.85 g/cm³)을 통과하여 관통해야할 필요가 종종 있기 때문이다.

<60> 본 발명에서, 자동차 차체 상의 최소한 하나의 코팅부는 전자빔 경화성 코팅 또는 엑스-레이 경화성 코팅이다. 일실시예에서, 칼라베이스코트는 전자 또는 엑스-레이 경화성이다. 다른 실시예에서, 칼라베이스코트 및 클리어코트는 전자 또는 엑스-레이 경화성이다. 또 다른 실시예에서, 베이스코트 및 클리어코트는 단독으로 또는 동시에 경화될 수 있다. 전자 빔 경화성 코팅은 하나 이상의 중고전력, 중고에너지 전자 빔으로 경화된다. 택일적으로, 경화성 코팅은 중고전력, 중고에너지 전자 빔에 의해 발생된 엑스-레이 필드로 경화된다. 바람직하게, 전자 빔은 고에너지, 고전력 빔이다.

<61> 전자 및 엑스-레이 경화성 코팅

<62> 전자 경화성 및 엑스-레이 경화성 코팅은 기본적으로 동의어다. 물리학적으로는 다를 수 있지만, 방사선 화학적으로는 기본적으로 동일하다. 그러나, 전자 빔은 전통적으로 엑스-레이에 비해 우호적인데 이는 전자를 엑스-레이로 전환하기 위하여 고전력 및 에너지가 필요하기 때문이다. 따라서, 선행기술과 본 발명에서는 전자 빔 경화성 필름에 초점을 맞춘다. 그러나, 이는 최고의 전자 빔 경화성 레진은 또한 엑스-레이 경화성인 것으로 이해되어져야만 한다.

<63> 전자 빔 및 엑스-레이 경화성 코팅은 종래 알려져 있고 상업적으로 입수가능하다. 예를 들어, 수용성 코팅제 또는 수성 에멀전과 같은 수인성 조제물로 아크릴레이트를 사용하는 전자 빔 경화성 시스템이 유효하다.

<64> 전자 빔 경화성 코팅은 일반적으로 물체 상에 스프레이된 다음 전자 빔 엑셀레이터 유래의 방사선에 의하여 경화된다(가교결합 및/또는 중합). 경화 과정은 수분, 수시간 내지 수일 걸리는 종래 코팅제에 비해 빨리, 방사선이 조사되어졌을 때 거의 순간적으로 일어난다. 경화가 상기와 같이 빨리 일어나기 때문에, 코팅제를 흐르게 하고 최대로 광을 내기 위하여 칠(application)과 경화 사이에 충분한 시간을 두는 것이 현명하다. 그러나, 이러한 흐름의 시간 동안, VOCs의 방출이 일어날 것이라는 점은 예상할 수 있는 일이다.

<65> 전자 빔 및 엑스-레이 경화는 코팅 색이나 불투명도에 의해 영향을 받지 않는다. 전자는 짧은 노출 시간내에 코팅을 경화시키기 위하여 효과적으로 염착된 코팅부를 관통한다.

<66> 전자 빔 및 엑스-레이 경화성 코팅제는 100 퍼센트 반응성 용액을 사용할 수 있고 이에 따라 비반응성 용매를 함께 필요로 하지 않는다. 그러나, 특정 레진은 휘발될 수 있고 VOCs가 될 수 있으며, 그래서 VOC를 생성하지 않는 능력은 조제물에 달려있다. 전자 빔 및 엑스-레이에 의해 경화된 코팅은 일반적으로 하기 성분들로 구성된다: (i) 불포화 이중결합을 포함하는 올리고머 또는 프리폴리머(prepolymer); 및 (ii) 반응성 용매(즉, 불포화도를 바꾸는 하나 이상의 모노머). 종종, 올리고머 또는 프리폴리머는 아크릴레이트 또는 메타크릴레이트(methacrylate) 기(groups)를 포함한다. 전자 빔 경화성 코팅은 또한 광개시제, 안료, 염료 및 다른 첨가제들을 포함한다.

<67> 전자 빔 또는 엑스-레이 경화성 코팅 중 하나의 타입은 중합 과정에서 자유-라디칼을 이용한다. 자유 라디칼은 짝짓지 않은 전자를 포함하는 매우 높은 반응성을 가지는 분자이다. 자유 라디칼은 전자 빔에 반응물이 직접적으로 노출됨으로써 만들어지거나 또는 전자 빔에 노출된 상태에서 광화학적 반응을 수행하는 광개시제 분자로부터 간접적으로 만들어진다. 자유 라디칼은 아크릴레이트기와 같은 활성화된 이중 결합과 반응하여 가교결합 및/또는 중합반응을 일으키는 연쇄반응을 활성화시킨다.

<68> 전자 빔 또는 엑스-레이 경화성 코팅 중 두 번째 타입은 양이온 중합반응을 이용한다. 이러한 과정은 에폭사이드(옥시란 링, oxirane rings)를 포함하는 레진 및 모노머 내에서 양이온 연쇄중합반응을 개시하기 위하여 복합적인 유기 분자의 염을 이용한다. 아크릴릭 알켄 이중 결합 및 옥시란 링은 광개시제 이용 여부와 관

계없이 전자 빔 방사선에 의해 활성화될 수 있다.

<69> 상업적인 용매계 코팅제(conventional solvent-based coatings)에서 사용하는 레진은 전자 빔 경화성이 되기 위하여 화학적으로 변형이 가능하다. 예를 들면, 에폭사이드, 폴리에스터, 폴리우레탄, 폴리에테르 및 다른 물질들은 아크릴레이트 작용기들을 도입함으로써 변형되어질 수 있다. 오늘날 전자 빔 경화성 조제물들 중에서 가장 흔하게 발견되는 올리고머는 아크릴레이티드 우레탄, 에폭사이드, 폴리에스터 및 실리콘이다. 바람직하게 이러한 조제물들은 아크릴릭산과 알코올기가 반응함으로써 또는 히드록시에틸 아크릴레이트가 산기(acid groups)와 반응함으로써 제조되어질 수 있다. 레진들의 일반적인 물리적 그리고 화학적 특성들은 변형된 이후 유지되어진다.

<70> 고전력, 중고에너지 전자 빔

<71> 엑셀레이터는 자유 전자를 발생시키기 위하여 전기적 에너지를 이용하여 상기 전자들을 고속(이로 인하여 높은 운동 에너지를 부여하기 위함)으로 가속화시켜, 일반적으로 컨베이어 또는 다른 타입의 플로우-쓰루(flow-through) 시스템 상에서 운반되는 물질에 이들 가속화된 전자들을 가하는 기계이다. 강력한 전자들은 물질을 관통하고, 자극시키고 원자 및 분자를 이온화시키고, 물질내에서 화학적 반응을 개시시킨다. 택일적으로, 충분한 전력 및 에너지의 빔에 주어진, 전자들은 탄탈륨(tantalum) 판과 같은 전환 타깃(conversion target)에 가해질 수 있는데 상기 전환 타깃은 전자보다 관통하는 힘이 더 크면서 동일한 기능을 가지는 엑스-레이로 전자를 변환시킨다.

<72> 엑셀레이터들은 TV 세트 또는 의학적 엑스-레이 기기와 전자를 발생시키는 방식에서 유사하다. 상기 모두 진공 챔버 안에서 음으로 하전된 음극을 가열시킴으로써 자유 전자 무리(cloud)를 발생시킨다. 일단 발생되면, 음으로-하전된 전자들은 음극 상에 음의 전기적 전위에 의해 반발되고 양극판에 붙게 된다. 알다이어 다이 나미트론®(RDI DYNAMITRON®)과 같은 직접적인 엑셀레이터에서, 음극에 걸린 음의 전압은 전자의 총 운동에너지로 결정된다. 아이비에이 로도트론®(IBA Rhodotron®)과 같은 마이크로웨이브 리니어 엑셀레이터(microwave linear(linac) accelerator), 또는 라디오 주파수 엑셀레이터(radio frequency(RF) accelerator)에서, 전자들은 상대적으로 낮은 에너지(전형적으로 25 내지 50 keV)로 가속되어진 다음 전자 엑셀레이팅 기구안으로 주입되어 교류전기필드(alternating electric fields)를 이용하여 더 높은 운동 에너지로 가속화된다. 가속화된 전자들은, 양극판에 박힌 얇은 금속성 윈도우(window)를 통해 새어 나간 다음 처리될 물질 쪽으로 대기를 통과하여 지나간다.

<73> 엑셀레이터 출력은 보통 전력의 와트나 킬로와트로 표시된다. 다른 작용인자들은 동일할 때, 200 kW 엑셀레이터는 시간당 50 kW 엑셀레이터에 비해 4배 더 많은 물질을 처리한다. 그래서, 낮은 에너지 엑셀레이터(예를 들어, 50 내지 300 keV)는 저에너지가 낮은 전자 관통능력을 의미하기 때문에 이용하는데 매우 제한적이다.

<74> 전자들은 주어진 물질에 대해서 예측가능한 관통깊이, 또는 도달 거리를 갖는다. 상기 도달 거리는 두 개의 파라미터에 의해 영향을 받는다: 전자 에너지와 제품의 밀도. 관통 능력은 에너지에 비례하고 밀도에 반비례한다. 동일한 입사 및 출사(equal entrance and exit)를 할 때 플라스틱 물질에서 관통 능력을 나타내는 기본적인 공식은 다음과 같다:

<75>
$$\text{관통 능력} = (0.414E - 0.142)/d$$

<76> 상기 식에서, "E"는 MeV 단위의 빔 에너지이고 "d"는 g/cm³ 단위의 밀도이다.

<77> 비록 정확한 관통 능력이 밀도와 원자 번호에 따라 변화될지라도, 일반적으로 MeV당 대략 3 내지 4 밀리미터의 플라스틱 물질을 관통하는 능력을 나타낸다.

<78> 저에너지 엑셀레이터는 자동차 차체와 같은 복잡한 삼차원의 고밀도 물체를 관통하고 경화하기에 충분한 에너지를 가진 빔을 발생시키지 못한다. 저에너지 엑셀레이터는 기본적으로 직방향 처리시(direct line of sight applications) 얇은 코팅을 경화하는데 제한된다. 만약 하나의 빔, 또는 수개의 빔에 대하여 불가능하다면, 훨씬 적은 타입의 자동차 차체에서, 자동차 차체의 모든 노출된 표면에 빔이 직방향을 갖는 것은 매우 어렵다. 차 표면의 굽음, 굴곡 및 접합에 의한 셰도잉은 최소한 몇몇의 노출된 표면을 가린다. 그래서 상업적인 엑셀레이터들의 관통력(penetration power) 부재는 이러한 목적에 매우 큰 문제점으로 간주되어 왔다.

<79> 반면에, 본 발명에서 사용하는 엑셀레이터는 중고전력, 중고에너지 전자 빔 엑셀레이터이다. 바람직하게, 엑셀레이터는 고전력, 고에너지 전자 빔 엑셀레이터이다. 본 발명에서 전형적으로 사용하는 전자 빔은 1

MeV 이상, 바람직하게는 최소한 3 MeV, 더욱 바람직하게는 최소한 5 MeV 및 10 내지 12 MeV만큼의 에너지를 가진다. 이것은 일반적으로 50 내지 300 keV의 에너지 범위를 가지는 코팅산업에서 사용하는 종래의 저에너지 빔에 비해 월등히 높다. 본 발명에서 전형적으로 사용하는 전자 빔은 최소한 1 kW, 바람직하게는 최소한 10 kW, 더욱 바람직하게는 최소한 35 kW, 더욱더 바람직하게는 최소한 80 kW, 이상적으로는 최소한 150 kW, 그리고 최소한 하나의 실시예에서, 200 kW 내지 700 kW만큼의 가능 출력의 전력을 가진다. 이러한 빔들은 금속의 다수개의 층을 관통할 수 있고, 그러므로 자동차 차체의 웨딩 효과에 의해 방해받지 않는다. 이러한 빔들은 삼차원 구조의 굴곡, 굽은 부위 또는 접힌 부위로 인하여 빔의 직방향으로부터 가리워진 자동차 차체의 부분에 도달하여 강철판의 다수개의 층을 관통할 수 있다.

<80> 바람직한 엑셀레이터들이 최근 IBA에 의해 도입되었다. 로도트론(Rhodotron)[®] TT 100은 10 MeV(3.5 mA)에서 35 kW까지 발생시킨다. 로도트론(Rhodotron)[®] TT 200은 10 MeV(10 mA)에서 100 kW까지, 5 MeV(20 mA)에서 100 kW까지 발생시킨다. 로도트론(Rhodotron)[®] TT 300은 10 MeV(20 mA)에서 200 kW까지, 5 MeV(27 mA)에서 135 kW까지 발생시킨다. 로도트론(Rhodotron)[®] TT 200과 TT 300의 빔 전력은 연속적인 산업적 작업(industrial service)를 위하여 80 kW와 150 kW를 각각 보장한다. IBA는 7 MeV와 700 kW의 비율을 가진, 세계에서 처음으로 매우 높은 전력을 가진 공업용 엑셀레이터인 로도트론(Rhodotron)[®] TT 1000을 제조하고 마지막 단계의 테스트를 수행하고 있다. 상기 로도트론(Rhodotron)[®] 류의 엑셀레이터는 미국 특허 제5,107,221호에 개시되어 있으며 전체적으로 종래 기술로서 본 발명에 병합되어진다.

<81> 빔 배열(Beam Arrangements)

<82> 중고전력, 중고에너지 전자 빔 엑셀레이터들은 수많은 배열 방식으로 배치되어질 수 있다. 하기에 세 가지 방식의 배열 방식을 기술한다:

<83> 설비 컨셉 #1: 다수개의 중고에너지 빔 스캐닝 장치

<84> 일 실시예에서, 연속적인 컨베이어 시스템에 의해 이동되는 자동차 차체 전체가, 중고에너지, 중고전력 전자 빔을 가하는 다수개의 고정된 빔 스캐닝 장치들(예를 들어, 두 개 내지 네 개 이상)이 있는 바울트로 들어간다. 상기의 빔은 동일한 전자 빔 엑셀레이터 또는 다수개의 전자 빔 엑셀레이터로부터 발산될 수 있다. 예를 들어, 상기 빔은 3 m 너비의 영역까지 커버하도록 물체의 반대편으로부터 발산될 수 있다. 상기 엑셀레이터는 바울트에 인접한 룸(rooms)에 장착되어진다. 스캐닝 장치들은 전체적인 차체 위에 비교적 일정하게 도입시킬 수 있도록 바울트 내에 전략적으로 위치시킨다.

<85> 복잡한 형상 주위에 빔을 배치시키는 것은 많은 방식으로 최적화될 수 있다. 설명하는 예들로는 다음을 포함한다: (a) 선형 및 불규칙적으로 생긴 물체에 방사선을 조절하여 조사하기 위한 장치를 제공하는 클랜드 외(Cleland et al.)의 미국 특허 제4,295,048호; 및 (b) 꼬인-형상의 물체와 굴곡진 표면에 일정하게 조사할 수 있는 장치를 제공하는 기렌즈 외(Gielenz et al.)의 미국 특허 제6,479,831호. 이러한 특허의 개시 내용은 종래 기술로서 본 발명에 병합되어진다.

<86> 몬테 카를로(Monte Carlo) 소프트웨어를 사용하는 컴퓨터 시뮬레이션은 10 MeV, 20 mA(즉, 200 kW)의 단일 빔을 이용하여 40 kGy를 조사하였을 때 만일 칠해진 표면(painted surface)가 항상 빔을 직접적으로 향해 있으면 경화 시간이 1.64분/자동차 차체(또는 0.6 차체/분의 경화 속도) 걸릴 것이라고 예측한다. 경화 시간은 비록 몇몇의 금속 두께가 칠해진 표면에 도달하기 전에 관통되어야만 할지라도 여전히 상당히 적당하다. 특별히, 예측되는 경화시간은 1.6, 3.2 및 4.8 mm의 깊이(각각의 판이 0.8 mm 두께이고 밀도가 7.85 g/cm³일 때, 각각 2, 4 및 6 개의 강철판 스택(stacks)을 통과하는 깊이)에서 1.1, 1.1 및 2.3 분/차체이다. 다른 방향으로부터의 두 개 이상의 빔을 도입함에 따른 추가적인 효과는 이러한 계산으로 고려되어질 수 없다. 이러한 속도는 만일 두 개의 엑셀레이터들이 사용되어진다면 반감되고 만일 20 kGy 더 낮은 도입량을 희망했다면 다시 반감된다. 예를 들어, 20 kGy의 도입 요구량을 성취하기 위하여 400 kW의 빔 전력(예를 들어, 두 개의 10 MeV, 200 kW 엑셀레이터들)을 사용하면 경화 속도는 상기 속도보다 대략 4배 더 빨라진다.

<87> 5 내지 10 MeV의 에너지를 가지는 두 개의 빔은 만족스러울 수 있다. 세 개 내지 네 개의 빔이 훨씬 더 효과적일 것이다.

<88> 일 실시예에서, 자동차 차체는 도입량을 일정하게 하기 위하여 그 것이 처리 구역(treatment zone)을 통과함에 따라, 고정된 각도(예를 들어, 45°)로 회전되어진다. 이러한 자동차 방향대로 두 개의 빔을 통해서 한

번 통과(pass)하는 것은 충분하게 이루어져야 한다. 택일적으로, 통과(pass)당 총 도입량의 반으로 두 번 통과하는 것(즉, 두 배의 컨베이어 속도)은 더 일정하게 도입량을 분포시키기 위하여 차체의 반대 방향으로 회전시킬 수 있다. 두 번의 통과는 오늘날 많은 전자 빔 설비에서 일상적으로 행해진다. 이것은 바울트 밖의 컨베이어 시스템에 루프를 필요로 하고, 적절히 컴퓨터 통제되는 제품-추적 시스템(computerized product-tracking system)을 필요로 한다. 상기 설비의 총 재료처리량은 단일-통과 시스템과 실질적으로 다르지 않다.

<89> 설비 컨셉 #2: 단일의 중고에너지 스캔 호른(horn)

<90> 다른 실시예에서, 연속적인 컨베이어 시스템에 의해 자동차 차체 전체가 단일의 엑셀레이터와 스캐닝 장치를 사용하는 바울트로 들어간다. 이 실시예에서, 스캐너는 어떠한 수평의, 수직의 또는 각도의 방향으로도 향할 수 있도록 배치되어질 수 있다. 바람직하게, 스캐너는 바울트의 중앙 아래로 수직적으로 향하도록 고정되거나, 바울트 중앙을 향하여 옆으로 수평적으로 향하기 위하여 위치되어진다. 도입량을 일정하게 분포시키기 위하여, 컨베이어는 바울트를 통해서 차체가 움직임에 따라 빔을 향하도록 차체를 기울이도록 프로그램 되어진다. 다시 말해, 차체는 직접적인 시선으로부터 가리워진 총 표면적을 줄이기 위하여 빔 안에서 움직인다. 일례로, 차체는 45° 각도까지 기울어진다. 다른 예로, 차체는 두 개의 축으로 기울어진다.

<91> 이것은 동적인(dynamic) 프로그램이고, 다수개의 스캔 호른을 사용하는 것과 비교했을 때 동일한 총 빔 전력을 위하여 동일한 전체적인 재료처리량을 성취하기 위하여 바울트를 통과해서 두 번 이상 통과하는 것을 필요로 한다. 다수개의 스캔 호른을 사용할 때와 비교해서 이러한 컨셉의 장점은 빔 관통 능력 요구량이 줄어들 수 있기 때문에 더 낮은 에너지 빔이 사용가능하다는 점이다. 이것은 가열 효과(heating effects)를 낮추고 재료처리량을 증가시킨다. 자본 비용(capital cost)은 더 적은 엑셀레이터가 요구되므로 약간 낮아지고, 쉴딩(shielding)이 감소된다. 부정적인 면은 좀 더 복잡한 제품의 취급 시스템이 필요하다는 것이다. 모든 다른 요인들은 다수개의 스캔 호른을 사용하는 것과 유사하다.

<92> 설비 컨셉 #3: 초고전력 엑셀레이터(very high power accelerator)를 이용한 엑스-레이 경화

<93> 일실시예에서, 수평적인 또는 수직적인 스캔 호른을 가진 하나 이상의 고전력 엑셀레이터는 실질적으로 엑스-레이 필드로 바울트 전체가 완전히 채워지도록 하면서 바울트 안으로 엑스-레이를 향하도록 엑스-레이 전환 타겟(conversion target)에 맞춘다(fit). 최신의 중고전력, 중고에너지 전자 빔은 많은 양의 엑스-레이를 발생시키는 것이 가능하다. 고전력 및 고에너지가 엑스-레이 전환을 용이하게 하기 때문에, 고전력 고에너지 빔이 선호되어진다. 이러한 점에 관하여는, IBA가 세계 최초의 초고전력 공업용 엑셀레이터인, 7 MeV와 700 kW의 비율을 가진 로도트론(Rhodotron)[®] TT 1000를 제조하고 현재 마지막 테스트 단계에 있다.

<94> 엑스-레이는 전자를 사용하여 가능한 것보다 대략 한 자리수 더 큰 두께를 관통하는 능력을 가진다. 일반적으로, 엑스-레이 유래의 광자(photons)는 포격 전자(bombarding electrons)와 유사한 경화 효과를 가질 것으로 기대되어진다. 부정적인 면은 전자 빔에서 엑스-레이로의 에너지 전환 효율이, 엑스-레이를 발생시키는데 사용한 전자 빔의 에너지에 의존하여 5% 내지 15% 범위(10 MeV 이하의 에너지)로 나쁘다. 그러나, 처리 속도는 특별히 로도트론(Rhodotron)[®] TT 1000과 같은 초고전력 엑셀레이터를 사용할 때 여전히 상당히 빠르다.

<95> 자동차 차체의 코팅을 전자 빔으로 경화시킬 때 이전의 컨셉을 뛰어넘는 본 컨셉의 장점은 단지 하나의 스캔 호른을 가지고 단순한 제품 취급 시스템을 이용할 수 있다는 것과, 차체를 통과하는 일정한 관통능력이 성취되어지지 않을 가능성이 적다는 것이다. 또한, 생산되어진 총 에너지의 더 작은 부분이 강철판에 의해 흡수되어질 것이기 때문에, 온도는 직접적인 전자 빔 경화보다 덜 증가할 것이다. 엑스-레이 방식의 결점은 대략 1,500 kW의 고전력을 요구하는 것과 쉴딩이 다소 증가하는 것이다.

<96> 몬테 카를로(Monte Carlo) 소프트웨어를 사용하는 컴퓨터 시뮬레이션은 7 MeV 700 kW 빔 유래의 단일 고전력 엑스-레이원(X-ray source)을 이용하여 40 kGy를 조사하였을 때, 1.6, 3.2 및 4.8 mm의 깊이(각각 2, 4 및 6 금속 두께)에서 12, 13 및 14 분/차체의 경화 시간이 걸릴 것이라고 예측한다. 이러한 시간은 20 kGy의 도입량에서 반감되고, 만일 두 개의 엑셀레이터가 사용된다면 다시 반감된다. 그래서, 네 개의 엑셀레이터를 가지는 시스템은 1.5 내지 2 분/차체 범위의 경화 시간을 가질 것으로 예측된다.

<97> 컨베이어 시스템

<98> 어떠한 종래의 컨베이어 시스템이라도 미로(maze)를 통과해서 자동차 차체를 이동시키는데 사용되어질 수 있다. 오버헤드(overhead) 및 인버티드 파워(inverted power) 및 프리(free) 컨베이어 및 체인(chain) 컨베이어를 혼용하여 사용하는 것이 전형적이다. 바람직한 컨베이어 시스템은 제르비스 웹(Jervis Webb)과 같은 회

사로부터 상업적으로 입수가능하다. 컨베이어 시스템의 주요한 요구조건은 미로를 통과해서 차체를 이동하고 지지하기에 충분하고, 일정한 도입을 보장하기 위하여 빔을 통과하는 차체의 속도와 각을 조절하는 것이 가능해야 한다는 것이다. 적용되는 도입량은 빔을 통과하는 컨베이어의 속도에 반비례한다.

<99> **미로(maze)**

<100> 모든 방사선이 바울트 내에 가둬져(contained) 있기 위한 하나의 방법은 바울트 안으로 들어가기 전에 "미로"를 통과해서 차체가 지나가도록 하는 것이다. 이러한 바울트 및 미로는, 바탕 수준(background levels) 아래로 미로의 입구 또는 출구에서 방사선 수준을 감소시키기 위하여 내부 표면으로부터 네 개 또는 다섯 개의 산란(scatterings)이 발생하도록 디자인되어진다. 컴퓨터 코드(codes)는 어떠한 특성의 설비 디자인을 위한 바울트 및 미로 밖의 방사선 수준을 정확하게 맞출(model) 수 있는 것들이 상업적으로 입수가능하다.

<101> 도 1A, 1B, 2A, 2B, 3A 및 3B는 그러한 설비를 위한 세 개의 가능한 레이아웃의 평면도 및 측면도이다. 미로는 수평적인, 수직적인, 또는 이들의 병합이 될 수 있다. 도 1A 및 1B는 수직적인 미로를 가진 "스트레이트-쓰루(straight-through)" 배치를 보여준다. 도 2A 및 2B는 수직적인 미로와 수평적인 미로의 병용을 보여준다. 도 3A 및 3B는 미로의 코너(corners) 주위를 지나감에 따라 차체가 회전하는 수평적인 미로를 보여준다. 차체는 한 방향으로 미로와 바울트를 통과해서 연속적으로 이동하거나, 또는 미로를 통과해서 이동함에 따라 회전될 수 있다. 많은 다른 컨셉들이 가능하다. 상기 예들은 가능한 구성(configuration) 중에 단지 세 개의 예일 뿐이다. 콘크리트 벽은 스캐닝 장치 가까이에서는 더 두껍고 미로 입구-출구에 더 얇고 더 가깝다. 콘크리트 대신에 강철이나 납과 같은 더 고밀도의 쉴딩 물질을 사용하는 것은 비록 자본 비용이 다소 더 높을지라도 필요한 벽 두께를 감소시켜 설비의 크기를 줄인다.

<102> 바울트로부터 누출되려고 하는 방사선은 직선으로 이동하나, 내부의 표면으로부터 산란될 수 있다. 이러한 레이아웃들은, 내부 표면으로부터의 다섯 개의 산란이 바탕 수준 아래로 도입량을 감소시키게 한다는 것을 추측하게 한다. 이것은 줄잡은 어렵일 수 있다. 더 짧은 미로에서는 단지 네 개의 산란만이 요구되어지는 것이 가능하다. 설비가 보여주는 내부 면적은 SUVs와 같은 최대한외-크기를 가진 운송 수단 동체(body)에도 만족스러워야 한다.

<103> **가열**

<104> 강철 덩어리의 단열 온도 상승(rise)은 대략 철안으로 전달된 kGy의 도입량당 대략 2.27℃이다. 그러므로, 40 kGy의 도입량은 대기 온도 이상으로 91℃의 순간 온도 증가 즉, 대략 120℃의 최대 온도까지 온도 증가가 일어나게 한다. 이러한 온도 증가는 받아들일 수 있는 정도이다(왜냐하면 칠해진 동체가 얼마 안 있어 현행(current) 오픈 베이킹 프로세스에서보다 더 높은 온도가 되게 되기 때문). 더욱이, 대기(또는 다른 것) 냉각 시스템(cooling system)은 이러한 온도 증가를 감소시킬 수 있다. 자동차 차체의 전체 표면적의 단지 작은 부분만이 어떠한 일순간에 빔 에너지에 쏘이게 되고, 또한 더 적게 요구되는 도입량이 온도 증가를 비례적으로 낮춘다. 예를 들어, 20 kGy의 도입량은 대략 45℃의 대기 온도 이상으로 최대의 이론적인 온도 증가를 가져온다. 전반적으로, 온도 증가는 심각한 문제가 아니다.

<105> **산소 부재 환경(Oxygen free environments)**

<106> 전자 빔 경화 코팅의 경화 속도는 방사선 챔버내에 산소가 존재함으로써 방해받을 수 있다. 전자는 자유 라디칼을 발생시킴으로써 코팅을 경화시킨다. 산소는 그 자체가 자유 라디칼 제거제(scavenger)이기 때문에 이러한 과정을 늦출 수 있다. 만일 이러한 효과가 현저하면, 산소 수준(level)은 전자 경화가능한 코팅에서 과산화 제거제를 깊숙히 박음으로써 제거될 수 있다. 택일적으로, 산소 수준은 불활성 기체(질소 기체와 같은)를 제품 위로 보내는 것 및/또는 진공 펌핑(vacuum pumping)에 의하여 감소될 수 있다. 제품은 또한 진공에 의하여 밀봉되거나 또는 불활성 기체로 채워진 백에 포장되어질 수 있다. 경화 속도가 산소에 의하여 현저하게 영향받지 않는 전자 빔 경화성 코팅제를 선택하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 바람직한 베이스코트는 스트라스모어(Strathmore, New York)에 의해 제조되어지고 B95-0002U(S 26992)로 불려지는 것이 있다. 스트라스모어 B95-0002U는 전자 빔 경화성, 양이온, 블랙(black), 환식지방족(cycloaliphatic) 에폭시 제형(formulation)이다.

<107> **본 발명의 장점**

<108> 본 발명의 방법은 여러 장점을 가진다. 첫 번째이자 가장 중요한 점은, 자동차 코팅 산업에서 사용하는 비반응성 용매를 없애거나 줄일 수 있게 한다는 것이다. 개시된 바에 따르면, 용매는 화재 위험성이 있고 HAPs 및 VOCs를 생성하는 원인(source)인 연기를 발생시켜 고가이고 에너지를 소비하는 VOC 완화 장치를 필요로 한다. 둘째, 전자 빔 및 엑스-레이는 즉각적인 개시와 정지 능력(capabilities)뿐만 아니라 자동차 차체당 일분

미만으로 매우 빠르게 경화시킨다. 이것은 불을 켜고, 경화하고 불을 끄는데 수분이 걸리는 종래 열오븐에 비교했을 때 재료처리량을 증가시킨다. 셋째, 전자 빔과 엑스-레이 경화는 저온 처리과정이다. 내부 열은 제품 내에서 발생되지만, 이러한 과정은 여전히 열가소성과 같은 열에 민감한 물질에 더 적합하다. 열에 민감한 물질은 종종 차체의 다양한 부분이나 밑에 있는(underlying) 코팅제에서 발견되어질 수 있다. 넷째, 본 발명은 하나의 클래스(class)로서, 더 긴 반감기를 가지는 경향이 있고 바르기 전에 더 긴 가사시간을 가지는 경향이 있는 방사선 경화성 코팅제의 사용을 허용하는데 이는 이들 코팅제들이 종종 단일 성분 시스템이기 때문이다. 다섯째, 이러한 동일한 맥락에서, 방사선 경화성 코팅제는 경도, 용매 저항성, 염색 저항성 및 마손(abrasion) 저항성과 같은 물리적 특성이 더 좋게 나타내는 경향이 있다. 사실상, 방사선 경화성 코팅제에 휘발성 성분 함량이 더 낮으면 광택은 더 좋아지고, 골격은 더 좋게 하며, 수축은 덜해진다. 여섯째, 전자 빔 엑셀레이터는 열 오븐에 비해 더 에너지 효율적이다. 종래의 시스템에서 용매를 증발시키거나 열적 반응을 유도하기 위하여 요구되는 열 에너지는 오븐이 비효율적이기 때문에 전자 빔 시스템에서 사용하는 에너지에 비해 수십배 더 높은 수준이다. 10 MeV, 200 kW 엑셀레이터는 대략 500 kW의 전력을 필요로 한다. 만일 대략 5 cents/kW-hr의 비용이 드는 것으로 견적된다면, 이것은 \$25/hour의 양이다. 이것은 열 오븐에 비하여 상당한 비용의 절감이다. 일곱 번째, 전자 빔 엑셀레이터는 종래 열 오븐에 비해 바닥 면적을 덜 요구하고 전자 빔 경화 설비를 위한 주요 비용은 오븐 경화 설비에 필적한다.

<109> 다른 적용들(applications)

<110> 비록 본 발명이 자동차 차체 상의 코팅을 경화하기 위한 내용이 주로 기술되었더라도, 이에 한정되지 않는다. 유사한 문제들이 본 발명에 의해 해결되어지는 다른 커다란 삼차원 물체를 경화시킬 때에도 부딪치게 된다. 그래서, 본 발명은 가구(작은 장, 책상 등), 잔디깎는 기계 프레임(frames), 보트, 자전거, 건축 장비, 조경 장비 등을 포함하는 어떠한 복잡한 삼차원 구조물 상의 코팅을 경화하는데 사용 가능하다. 본 발명은 특별히 굽은, 굴곡진, 또는 접힌 시트제로부터 형성된 어떠한 삼차원 구조의 물체상의 코팅을 경화하는데 사용 가능하다. 바람직한 시트제는 금속, 플라스틱, 섬유 유리, 탄소 섬유, 고무, 나무 또는 이들의 복합체를 포함한다. 특별히 바람직한 시트제는 강철이다.

<111> 이에 따라, 본 발명의 다른 관점은 하기 단계를 포함하는 삼차원 구조로 굴곡지거나, 굽어 있거나 또는 접힌 시트제로 만들어진 물체 상의 하나 이상의 코팅부를 경화시키는 방법이다: (i) 적어도 하나의 전자 또는 엑스-레이 경화성 코팅제로 물체를 코팅하는 단계; 및 (ii) 하나 이상의 중고전력, 중고에너지 전자 빔 또는 엑스-레이 필드를 통과하도록 상기 물체를 일 회 이상 이동시키는 단계, 이 때 적어도 하나의 전자 빔 및/또는 엑스-레이 필드는 상기 빔이나 필드에 비취질 수 있는 시선에 없는 코팅부를 경화시키기 위하여 상기 시트제의 다수개의 층을 관통하는 능력이 있다. 바람직하게는, 모든 전자 빔 및/또는 엑스-레이 필드는 상기 빔 또는 필드의 시선에 없는 코팅부를 경화시키도록 상기 시트제의 다수개의 층을 관통할 수 있다. 만일 존재한다면, 고전력, 중고에너지 엑스-레이 필드는 중고전력, 중고에너지 전자 빔으로 금속 타격을 때림(striking)으로써 발생된다. 일실시예로, 시트제는 3 mm의 플라스틱 소재의 등가 영역 밀도와 같거나 또는 더 큰 등가 영역 밀도를 가진다. 다른 실시예로, 시트제는 0.4 mm의 강철의 등가 영역 밀도와 같거나 또는 더 큰 등가 영역 밀도를 가진다. 또 다른 실시예로, 시트제는 강철이다.

<112> 본 발명의 또 다른 관점은 상기에서 기술한 어떤 하나의 방법을 수행하는 장치(facility)에 관한 것이다. 이에 따라, 본 발명은 하기 구성 요소를 포함하는 기계장치(plant)를 포함한다: (i) 삼차원 구조로 굴곡지거나, 굽어 있거나 또는 접혀 있고, 하나 이상의 전자 빔이나 엑스-레이 경화성 코팅제로 코팅된 시트제로 만들어진 하나 이상의 삼차원 구조의 물체; (ii) 전자 빔 및/또는 엑스-레이 필드를 통과하도록 상기 하나 이상의 물체를 이동시키기 위한 컨베이어 시스템; 및 (iii) 적어도 하나의 상기 빔 및/또는 필드는 상기 빔 또는 필드에 비취질 수 있는 시선에 없는 코팅부를 경화시키기 위하여 상기 시트제의 다수개의 층을 관통하는 능력을 가지는, 하나 이상의 중고전력, 중고에너지 전자 빔 및/또는 엑스-레이 필드를 발생시킬 수 있는 하나 이상의 엑셀레이터. 바람직하게는, 모든 전자 빔 및/또는 엑스-레이 필드는 상기 빔 또는 필드의 시선 안에 없는 코팅부를 경화시키도록 상기 시트제의 다수개의 층을 통과할 수 있다. 만일 존재한다면, 고전력, 중고엑스-레이 필드는 중고전력 중고에너지 전자 빔으로 금속 타격을 때림으로써 발생된다. 일실시예에서, 시트제는 3 mm 플라스틱 재의 등가 영역 밀도와 같거나 또는 더 큰 등가 영역 밀도를 가진다. 다른 실시예에서, 시트제는 0.4 mm 강철의 등가 영역 밀도와 같거나 또는 더 큰 등가 영역 밀도를 가진다. 또 다른 실시예에서, 시트제는 강철이다.

<113> 실시예

<114> 실시예 1: 몬테 카를로 시뮬레이션(전자 빔)

- <115> 계산(calculation)은 고-에너지 전자로 자동차 차체 상의 코팅을 경화하기 위해 필요한 시간을 예측하기 위하여 수행되었다. 특별히, 철 흡수재에 5, 7 및 10 MeV 전자 빔을 조사(irradiated)했을 때 깊이-도입량 분포를 계산하기 위하여 ITS3 TIGER 몬테 카를로 코드가 사용되었다. 각각의 경우에, 철의 예측된 두께가 일차 전자의 최대 범위보다 더 컸다. 철의 표면은, 철 내부에 대한 코팅제 내부의 에너지 증착(deposition)(흡수된 도입량에 비례적임)간의 차이를 계산하기 위하여 아크릴릭 물질(acrylic materials)로 덮여있는 것으로 추측되었다.
- <116> TIGER 코드는 단지 무한 영역(unbounded areas)을 가진 평평한 판상 소재에 일차원적으로 도입량을 분포시킨다. 출력된 데이터는 커다란 평평한 표면에 조사하기 위한 면적당 재료처리량 비율(area throughput rate)을 계산하기 위하여 사용될 수 있으며, 흡수재내의 흡수된 도입량의 변화를 살펴보기 위하여 사용될 수 있다. 그러나, 유한(finite) 판(plates) 또는 물체의 가장자리에서 도입량의 변화는 이 코드로는 계산될 수 없다. 그러한 삼-차원적 계산 방법은 ITS3 ACCESS 몬테 카를로 코드로 수행될 수 있다(즉, 라디에이션 세이프티 인포메이션 컴퓨테이션 센터(the Radiation Safety Information Computational Center)로부터 입수가능한 C-467/ITS3 코드 팩키지, 커플드 일렉트론/포톤 몬테 카를로 트랜스포트 코드(Coupled Electron/Photon Monte Carlo Transport Codes)의 인테그레이티드 TIGER 시리즈(Integrated TIGER Series)}.
- <117> 두꺼운 철(iron) 흡수재상에 5, 7 및 10 MeV의 전자를 입사시켰을 경우로 세 가지의 몬테 카를로 계산을 수행하였다. 철(iron)은 입력 데이터를 단순화시키기 위하여 강철(steel) 대신에 조건으로서 지정하였다. 강철과 철의 차이는 이러한 계산에 무시해도 좋을 정도이다. 50 마이크론(micron) 티탄늄 전자 빔 윈도우는 윈도우와 철 흡수재 사이에 100 cm의 대기 공간을 따라 끼워졌다(included). 빔 윈도우와 대기 공백부에 쌓인(deposited) 전자 에너지는 이러한 투입 에너지에 무시해도 좋을 정도이고, 이들은 결론을 변화시키지 않고 계산으로부터 생략되어질 수 있다.
- <118> 빔 윈도우와 대기 공간은 단일 구역(zones)(층, layers)으로서 설계되어진다(designed). 50 마이크론 아크릴릭 코팅은 두 개의 구역으로 세분되어지는데, 두꺼운 철 흡수재는 다수개의 구역, 각 0.2 mm 두께의 구역으로 세분되어져서 철 내부의 깊이-도입량 분포도를 보여준다. 이러한 계산들로 철 흡수재에 대한 유기 코팅제의 더 높은 도입량을 예상할 수 있음을 확인할 수 있다. 각각의 몬테 카를로 계산은 500,000 전자의 기록들(histories)을 포함했다. 1.7 GHz 펜티엄 4 프로세서의 개인용 컴퓨터를 사용하였을 때 가동 시간(running time)은 대략 21 내지 37분의 범위였다.
- <119> ITS3 TIGER 출력 데이터 파일은 $\text{MeV cm}^2/\text{g}$ 의 단위, 또는 g/cm^2 의 단위 면적 밀도당 MeV의 단위로 흡수재의 각 구역(zone)에 대한 전자당 에너지 증착을 제공한다. 각 구역의 입구(entrance) 및 출구(exit) 깊이는 차원이 없는(dimensionless) 비율, Z/R로서 주어지는데, 이는 g/cm^2 의 면적 밀도 단위를 가진 물질 내의 최대 전자 비율 R로 깊이 Z를 나눈 것이고, 상기 면적 밀도 단위는 cm 단위의 두께와 g/cm^2 의 부피 밀도를 곱한 것이다.
- <120> 몬테 카를로 계산 결과를 부분적으로 도 4, 5 및 6에 나타내었다. 원래의 데이터는 하기 표에 개시하였다.

표 1

전자로 자동차 차체 상의 코팅을 경화하기 위한 작업 시간(processingtimes)(전자 에너지는 5MeV, 빔 전류는 40mA, 빔 전력은 200kW, 도입량은 40kGy, 폭은 2m, 길이는 5m임)								
강철 길이 mm	에너지 중첩 MeV cm ² /g	비율표면/ 깊은곳	철 면적 K 작용인자 kGy m ² / mA min	아크릴레이트 면적 K작용인자 kGy m ² / mA min	면적 비율 m ² /min	라인 속도 m/min	중화 속도 자동차 차체 /min	중화 시간 min/자동차 차체
0.20	1.86	1.000	11.1876	13.8726	13.873	6.936	1.3873	0.72
0.40	2.28	1.223	13.6860	16.9706	16.971	8.485	1.6971	0.59
0.60	2.67	1.430	15.9996	19.8395	19.840	9.920	1.9840	0.50
0.80	2.89	1.549	17.3286	21.4875	21.487	10.744	2.1487	0.47
1.00	2.92	1.567	17.5290	21.7360	21.736	10.868	2.1736	0.46
1.20	2.79	1.494	16.7178	20.7301	20.730	10.365	2.0730	0.48
1.40	2.56	1.373	15.3642	19.0516	19.052	9.526	1.9052	0.52
1.60	2.27	1.215	13.5906	16.8523	16.852	8.426	1.6852	0.59
1.80	1.93	1.036	11.5914	14.3733	14.373	7.187	1.4373	0.70
2.00	1.58	0.846	9.4614	11.7321	11.732	5.866	1.1732	0.85
2.20	1.23	0.661	7.3902	9.1638	9.164	4.582	0.9164	1.09
2.40	0.90	0.482	5.3931	6.6874	6.687	3.344	0.6687	1.50
2.60	0.62	0.331	3.7059	4.5953	4.595	2.298	0.4595	2.18
2.80	0.39	0.211	2.3581	2.9240	2.924	1.462	0.2924	3.42
3.00	0.23	0.121	1.3570	1.6826	1.683	0.841	0.1683	5.94
3.20	0.12	0.064	0.7182	0.8906	0.891	0.445	0.0891	11.23
3.40	0.06	0.032	0.3564	0.4419	0.442	0.221	0.0442	22.63
3.60	0.03	0.016	0.1796	0.2227	0.223	0.111	0.0223	44.90
3.80	0.02	0.010	0.1111	0.1377	0.138	0.069	0.0138	72.62
4.00	0.01	0.008	0.0886	0.1098	0.110	0.055	0.0110	91.05

<121>

<122>

표 2

전자로 자동차 차체 상의 코팅을 경화하기 위한 작업 시간(processingtimes)(전자 에너지는 7 MeV, 빔 전류는 28.6mA, 빔 전력은 200kW, 도입량은 40kGy, 폭은 2m, 길이는 5m임)								
강철 깊이 mm	에너지 중량 MeV cm ² /g	비율표면/ 깊은곳	철 면적 K 작용인자 kGy m ² /mA min	아크릴레이트 면적 K작용인자 kGy m ² /mA min	면적 비율 m ² /min	라인 속도 m/min	중화 속도 자동차 차체 /min	중화 시간 min/ 자동차 차체
0.20	1.666	1.000	9.993	12.791	9.146	4.573	0.9146	1.09
0.40	1.883	1.131	11.300	14.464	10.342	5.171	1.0342	0.97
0.60	2.117	1.271	12.704	16.261	11.627	5.813	1.1627	0.86
0.80	2.351	1.412	14.108	18.059	12.912	6.456	1.2912	0.77
1.00	2.559	1.536	15.354	19.653	14.052	7.026	1.4052	0.71
1.20	2.704	1.624	16.225	20.767	14.849	7.424	1.4849	0.67
1.40	2.765	1.660	16.592	21.238	15.185	7.593	1.5185	0.66
1.60	2.758	1.656	16.550	21.184	15.146	7.573	1.5146	0.66
1.80	2.681	1.609	16.084	20.587	14.720	7.360	1.4720	0.68
2.00	2.546	1.529	15.275	19.553	13.980	6.990	1.3980	0.72
2.20	2.373	1.424	14.235	18.221	13.028	6.514	1.3028	0.77
2.40	2.171	1.303	13.024	16.670	11.919	5.960	1.1919	0.84
2.60	1.942	1.166	11.654	14.917	10.666	5.333	1.0666	0.94
2.80	1.697	1.019	10.184	13.035	9.320	4.660	0.9320	1.07
3.00	1.459	0.876	8.755	11.206	8.012	4.006	0.8012	1.25
3.20	1.216	0.730	7.295	9.337	6.676	3.338	0.6676	1.50
3.40	0.985	0.591	5.911	7.566	5.409	2.705	0.5409	1.85
3.60	0.773	0.464	4.636	5.935	4.243	2.122	0.4243	2.36
3.80	0.585	0.351	3.509	4.491	3.211	1.606	0.3211	3.11
4.00	0.424	0.254	2.543	3.254	2.327	1.163	0.2327	4.30
4.20	0.295	0.177	1.771	2.266	1.621	0.810	0.1621	6.17
4.40	0.198	0.119	1.188	1.521	1.088	0.544	0.1088	9.19
4.60	0.127	0.076	0.764	0.977	0.699	0.349	0.0699	14.31
4.80	0.080	0.048	0.483	0.618	0.442	0.221	0.0442	22.63
5.00	0.051	0.031	0.309	0.395	0.282	0.141	0.0282	35.40

<123>

표 3

전자로 자동차 차체 상의 코팅을 경화하기 위한 작업 시간(processing times)(전자 에너지는 10MeV, 빔 전류는 20mA, 빔 전력은 200kW, 도입량은 40kGy, 폭은 2m, 길이는 5m임)								
강철 깊이 mm	에너지 증착 MeV cm ² /g	비율표면/ 깊은곳	철 면적 K 작용인자 kGy m ² /mA min	아크릴레이트 면적 K 작용인자 kGy m ² /mA min	면적 비율 m ² /min	라인 속도 m/min	중화 속도 자동차 차체 /min	중화 시간 min/자동차 차체
0.20	1.561	1.000	9.367	12.177	6.088	3.044	0.6088	1.64
0.40	1.668	1.068	10.007	13.009	6.504	3.252	0.6504	1.54
0.60	1.767	1.132	10.601	13.782	6.891	3.445	0.6891	1.45
0.80	1.881	1.205	11.286	14.672	7.336	3.668	0.7336	1.36
1.00	2.000	1.281	12.000	15.600	7.800	3.900	0.7800	1.28
1.20	2.135	1.367	12.808	16.650	8.325	4.162	0.8325	1.20
1.40	2.265	1.451	13.590	17.667	8.834	4.417	0.8834	1.13
1.60	2.388	1.530	14.330	18.630	9.315	4.657	0.9315	1.07
1.80	2.492	1.596	14.949	19.434	9.717	4.858	0.9717	1.03
2.00	2.571	1.647	15.426	20.054	10.027	5.013	1.0027	1.00
2.20	2.598	1.664	15.585	20.261	10.130	5.065	1.0130	0.99
2.40	2.604	1.668	15.623	20.310	10.155	5.077	1.0155	0.98
2.60	2.583	1.655	15.500	20.150	10.075	5.037	1.0075	0.99
2.80	2.526	1.618	15.155	19.702	9.851	4.926	0.9851	1.02
3.00	2.445	1.566	14.672	19.073	9.537	4.768	0.9537	1.05
3.20	2.350	1.505	14.097	18.326	9.163	4.582	0.9163	1.09
3.40	2.226	1.426	13.354	17.360	8.680	4.340	0.8680	1.15
3.60	2.088	1.337	12.526	16.284	8.142	4.071	0.8142	1.23
3.80	1.945	1.246	11.671	15.172	7.586	3.793	0.7586	1.32
4.00	1.784	1.143	10.705	13.917	6.958	3.479	0.6958	1.44
4.20	1.626	1.041	9.755	12.681	6.341	3.170	0.6341	1.58
4.40	1.454	0.931	8.723	11.340	5.670	2.835	0.5670	1.76
4.60	1.286	0.824	7.718	10.033	5.017	2.508	0.5017	1.99
4.80	1.131	0.724	6.785	8.821	4.411	2.205	0.4411	2.27
5.00	0.969	0.620	5.811	7.554	3.777	1.889	0.3777	2.65
5.20	0.822	0.527	4.933	6.413	3.207	1.603	0.3207	3.12
5.40	0.687	0.440	4.121	5.358	2.679	1.339	0.2679	3.73
5.60	0.561	0.359	3.367	4.377	2.189	1.094	0.2189	4.57
5.80	0.452	0.290	2.715	3.529	1.765	0.882	0.1765	5.67
6.00	0.354	0.227	2.126	2.764	1.382	0.691	0.1382	7.24
6.20	0.273	0.175	1.641	2.133	1.067	0.533	0.1067	9.38
6.40	0.208	0.133	1.250	1.625	0.812	0.406	0.0812	12.31
6.60	0.158	0.101	0.947	1.231	0.615	0.308	0.0615	16.25
6.80	0.118	0.076	0.710	0.924	0.462	0.231	0.0462	21.65
7.00	0.089	0.057	0.532	0.691	0.346	0.173	0.0346	28.93

<124>

<125>

이러한 깊이-도입량 분포는, 동일한 입사 및 출사 도입량을 위한 철 두께가 5 MeV에서 대략 1.8 mm이고, 7 MeV에서 2.8 mm이고, 10 MeV에서 4.2 mm인 것을 보여준다. 철의 부피 밀도는 7.89 g/cm³이어서, 등가 영역 밀도는 5 MeV에서 대략 1.4 g/cm², 7 MeV에서 2.2 g/cm², 10 MeV에서 3.3 g/cm²이다. 에너지 증착에서 초기 증가는 철 내부에서 에너지를 가진(energetic) 이차 전자가 생성되기 때문이다. 더 깊은 깊이에서 에너지 증착이 감소하는 것은 일차 및 이차 전자 에너지가 고갈되기 때문이다.

<126>

철 내부의 전자 에너지 증착 값은 철의 깊이가 0.2 mm 증가할 때의 값으로 표 1, 2 및 3의 두 번째 컬럼에 나타내었다. 표면 값 대 깊은 부위의 값의 비율은 세 번째 컬럼에 나타내었다. 에너지 증착은 5 MeV에서 대략 1.0 mm, 7 MeV에서 1.4 mm, 10 MeV에서 2.4 mm의 최대값에 도달한다. 표면 값에 대한 최대값의 비율은 5 MeV에서 대략 1.57, 7 MeV에서 1.66 그리고 10 MeV에서 1.67이다.

<127>

자동차 부품상의 유기 코팅제는 철 흡수제보다 더 높은 전자 멈춤 능력(stopping power)을 가질 것이다. 멈춤 능력은 1 g/cm²의 면적 밀도를 가진 물질의 한 구역을 통과해서 지나는 전자에 의해 증착되는 MeV의 에너지로서 정의된다. 그러므로, 철의 표면으로서 동일한 전자 영향력에 노출될, 코팅부에 에너지가 증착되는 것은 첫 번째 철의 구역에 증착된 에너지보다 더 높아야만 한다. 두 가지 물질에서 이차 전자 평형(equilibrium)을 예측할 때, 경계면에서의 그들의 전자 에너지 증착 비율은 그들의 전자 멈춤 능력 비율과 같아야만 한다.

<128>

50 마이크론 코팅은 폴리메틸 메타크릴레이트의 것과 유사한 멈춤 능력을 가진 아크릴레이트 고분자 물질일 것으로 예측된다. 철에 대한 상기 고분자 물질의 전자 멈춤 능력 비율은, 비록 상기 비율이 전자 에너지

증가에 따라 약간 감소할지라도, 전자 에너지에 거의 독립적이다. 이론적인 멈춤 능력 비율은 5 MeV에서 1.31, 7 MeV에서 1.30, 10 MeV에서 1.29이다. 도 4, 5 및 6에 나타난 몬테 카를로 데이터로부터 얻은 표면 에너지 증착의 계산된 비율은 5 MeV에서 1.24, 7 MeV에서 1.28, 10 MeV에서 1.30이다. 코팅제에서 더 높은 에너지 증착은 이론적인 예측과 일치한다.

<129> 상기 표들의 여섯 번째 컬럼에 나타난 면적 재료 처리량 비율은 하기 수식식에 의해 계산되어졌다:

<130>
$$A/T = KI/D$$

<131> 상기 식에서, 면적 재료 처리량 비율, A/T는 m^2/min 의 단위이고, I는 mA 단위의 전자 빔 전류이고, D는 kGy 단위의 흡수된 도입량이다. 전자 빔 전력은 각 경우에 200 kW로 추측되었다. 그러므로, 전자 빔 전류는 5 MeV에서 40 mA, 7 MeV에서 28.6 mA 그리고 10 MeV에서 20 mA였다. 코팅제에 흡수된 도입량은 40 kGy일 것으로 예측되었다.

<132> 작용 인자, K는 $\text{kGy m}^2/\text{mA min}$ 단위의 면적 작업 효율인데, 이는 $\text{MeV cm}^2/\text{g}$ 단위의 에너지 증착의 6배와 동일하다. 철의 K 값은 표의 네 번째 컬럼에 나타내었다. 다섯 번째 컬럼에 개시된, 코팅을 위한 K 작용인자는 표 1에서는 1.24, 표 2에서는 1.28 그리고 표 3에서는 1.30을 철의 K 작용인자로 곱해서 얻었다. 이들은 몬테 카를로 계산법으로부터 얻은 철에 대한 폴리메틸 메타크릴레이트의 에너지 증착 비율 값이다(이전 단락에 기재된 내용을 참조하라). 여섯 번째 컬럼에 있는 면적 재료 처리량 비율은 아크릴 코팅(acrylic coating)의 더 높은 K 작용인자에 의한 것이다.

<133> 일곱 번째 컬럼에 나타난 라인(line) 속도는 2 미터로 추정되는 컨베이어 폭으로 나눈 면적 재료 처리량 비율이다. 여덟 번째 컬럼에 나타난 자동차 차체 경화 속도는 자동차 차체당 컨베이어 길이로 나눈 라인 속도인데, 이 때 상기 길이는 5 미터로 추정된다. 자동차 차체당 경화 시간은 자동차 차체 경화 속도에 반비례한다.

<134> 철 표면에 있는 코팅부에 에너지 증착을 근거로, 코팅제로 흡수된 도입량은 40 kGy이고, 한 방향으로부터 하나의 엑셀레이터를 처리한 것으로 가정했을 때, 자동차 차체당 경화 시간은 5 MeV에서 40 mA의 빔 전류를 가질 때 대략 0.72분, 7 MeV에서 28.6 mA일 때 1.01 분, 10 MeV에서 20 mA일 때 1.64 분이다. 경화 시간은 만일 도입량이 동일한 입구 및 출구 도입량보다 더 두꺼운 철을 통과해서 도입되어진다면 더 길어질 것이다.

<135> 다른 한편으로, 경화 시간은 만일 요구되는 도입량이 더 낮으면 더 짧아지는데, 왜냐하면 경화 시간은 도입량에 직접적으로 비례하기 때문이다. 예를 들면, 만일 도입량이 상기 계산에서 사용된 40 kGy 대신에 20 kGy로 감소된다면, 상기 표들에 기록된 경화 시간은 반이 되어야 할 것이다. 또한, 만일 자동차 차체가 두 개의 전자 엑셀레이터를 가진 반대 면으로부터 조사(irradiated)된다면, 경화 시간은 거의 반이 될 수 있으며, 도입량 분포의 균일함은 향상될 수 있을 것이다.

<136> 몬테 카를로 시뮬레이션을 근거로, 자동차 차체와 같은 복잡한 강철 구조물 상의 유기 코팅제는 고-에너지 전자로 조사됨으로써 경화될 수 있다. 본 발명은 종래 열적 경화에 대하여 더 짧은 경화 시간, 더 낮은 전력 소비 및 더 낮은 자본 비용과 같은 여러 장점이 있다.

<137> **실시예 2: 몬테 카를로 시뮬레이션(엑스-레이)**

<138> 고-에너지 엑스-레이로 자동차 차체상의 코팅부를 경화하는데 요구되는 시간을 추측하기 위하여 유사한 계산을 수행하였다. 전형적인 타깃 어셈블리 상에서 5, 6 및 7 MeV 전자를 이용하여 발생된 엑스-레이를 가진 두꺼운 철 흡수체에 깊이-도입량 분포도를 계산하기 위한 ITS3 TIGER 몬테 카를로 코드를 이용함으로써 결과를 얻었다. 예측되는 타깃 구조는 엑셀레이터 유래의 모든 일차 전자를 멈추기에 충분할만큼 두꺼웠다. 전자 깊이-도입량 분포도에 대한 엑스-레이 “바탕(background)”은 타깃 너머의 철 흡수체를 통과해서 타깃으로부터 뻗어 있다(extended). 깊이-도입량 분포도의 이러한 나머지 “후부(tail)”는 본 실험 결과를 위해 필요한 데이터를 제공했다.

<139> 최초로, 세 개의 몬테 카를로 계산이 전형적인 엑스-레이 타깃 상에 5, 6 및 7 MeV 전자로 수행되어졌다. 예측된 타깃 물질은 1.2 mm 탄탈륨 컨버터(converter) 판(plate), 2 mm 냉각수 채널(channel) 및 2 mm 스테인리스 스틸 백킹 판(backing plate)를 포함한다. 한 번 더, 철은 입력 데이터를 단순화하기 위하여 강철 대신 조건으로 지정했다. 강철과 철의 차이는 이러한 계산에서 무시해도 좋을 정도이다. 50 마이크론의 티탄늄 전자 빔 윈도우는 상기 윈도우와 타깃 간의 15 cm의 대기 간격(air gap)을 두고 끼워졌다. 또 다른 100 cm의 대기 간격이 엑스-레이 타깃과 철 흡수체 간에 존재하도록 했으며 이 때 철 흡수체는 5 cm 두께로 예측되었다. 빔 원

도우와 대기 간격에 증착된 전자 에너지는 이러한 투입(input) 에너지에 무시해도 좋았으며, 결과를 바꾸지 않으면서 계산으로부터 생략되어질 수 있었다. 모든 물질들은 철 흡수재를 제외하고, 에너지 증착을 계산하기 위한 단일 구역(층)으로써 디자인되어졌고, 이 때 철 흡수재는 엑스-레이 감쇠를 보여주도록 각 1 mm 두께의 50 구역으로 나뉘어졌다.

<140>

최초의 계산들은, 예측된 타겟 구조물들이 5 및 6 MeV에서는 모든 일차 전자들을 멈추기에 충분하나 7 MeV에서는 그렇지 않을 만큼 두꺼움을 나타냈다. 결과적으로, 다른 계산들은 1.4 mm 두께의 탄탈륨 컨버터판으로 7 MeV에서 수행되어졌으며, 이는 이 에너지에서 일차 전자들을 모두 멈추기에 충분하였다. 다섯 번째 계산은 철 흡수재의 표면에 50 마이크론 아크릴릭 코팅제로 7 MeV에서 수행되었다. 이 것은 철 흡수재에 대비해서 유기 코팅제가 더 높은 도입량을 가질 것이라는 기대를 확인할 수 있게 하였다. 각 몬테 카를로 계산은 500,000 전자의 기록들을 포함했다. 각 실행(run)에 필요한 시간은 1.7 GHz 펜티엄 4 프로세서의 개인용 컴퓨터를 사용하여 대략 75분 걸렸다.

<141>

이러한 몬테 카를로 계산의 결과를 도 7, 8, 9, 10 및 11에 부분적으로 나타내었다. 수직 눈금(vertical scales)은 전자 깊이-도입량 분포의 엑스-레이 “후부(tails)”를 강조하기 위하여 확대되어지고 끝수는 버려졌다. 본래의 데이터는 하기 표에 나타내었다.

표 4

엑스-레이로 자동차 차체 코팅을 경화하기 위한 작업 시간(processing times)(전자 에너지는 5MeV, 빔 전류는 100mA, 빔 전력은 500kW, 도입량은 40kGy, 폭은 2m, 길이는 5m임)								
강철 깊이 mm	에너지 증착 MeV cm ² /g	비율표면/ 깊은곳	철 면적 K 작용인자 kGy m ² /mA min	아크릴레이트 면적 K작용인자 kGy m ² /mA min	면적 비율 m ² /min	라인 속도 m/min	중화 속도 자동차 차체 /min	중화 시간 min/자동차 차체
1	0.02175	1.000	0.1305	0.1827	0.457	0.228	0.0457	21.9
2	0.01999	0.919	0.1200	0.1679	0.420	0.210	0.0420	23.8
3	0.01893	0.870	0.1136	0.1590	0.398	0.199	0.0398	25.2
4	0.01804	0.829	0.1083	0.1516	0.379	0.189	0.0379	26.4
5	0.01656	0.761	0.0994	0.1391	0.348	0.174	0.0348	28.7
6	0.01602	0.737	0.0961	0.1346	0.337	0.168	0.0337	29.7
7	0.01542	0.709	0.0925	0.1295	0.324	0.162	0.0324	30.9
8	0.01450	0.666	0.0870	0.1218	0.304	0.152	0.0304	32.9
9	0.01402	0.645	0.0841	0.1178	0.294	0.147	0.0294	34.0
10	0.01307	0.601	0.0784	0.1098	0.274	0.137	0.0274	36.4
11	0.01236	0.568	0.0741	0.1038	0.260	0.130	0.0260	38.5
12	0.01188	0.546	0.0713	0.0998	0.249	0.125	0.0249	40.1
13	0.01132	0.520	0.0679	0.0951	0.238	0.119	0.0238	42.1
14	0.01093	0.503	0.0656	0.0918	0.230	0.115	0.0230	43.6

<142>

표 5

엑스-레이로 자동차 차체 코팅을 경화하기 위한 작업 시간(processingtimes)(전자 에너지는 6 MeV, 빔 전류는 100mA, 빔 전력은 600kW, 도입량은 40kGy, 폭은 2m, 길이는 5m임)								
강철 깊이 mm	에너지 증착 MeV cm ² /g	비율표면/ 깊은곳	철 면적 K 작용인자 kGy m ² /mA min	아크릴레이트 면적 K작용인자 kGy m ² /mA min	면적 비율 m ² /min	라인 속도 m/min	중화 속도 자동차 차체 /min	중화 시간 min/자동차 차체
1	0.03204	1.000	0.1922	0.2691	0.673	0.336	0.0673	14.9
2	0.02955	0.922	0.1773	0.2482	0.621	0.310	0.0621	16.1
3	0.02788	0.870	0.1673	0.2342	0.585	0.293	0.0585	17.1
4	0.02652	0.828	0.1591	0.2228	0.557	0.278	0.0557	18.0
5	0.02439	0.761	0.1463	0.2049	0.512	0.256	0.0512	19.5
6	0.02380	0.743	0.1428	0.1999	0.500	0.250	0.0500	20.0
7	0.02220	0.693	0.1332	0.1865	0.466	0.233	0.0466	21.5
8	0.02155	0.673	0.1293	0.1810	0.453	0.226	0.0453	22.1
9	0.02042	0.637	0.1225	0.1716	0.429	0.214	0.0429	23.3
10	0.01916	0.598	0.1149	0.1609	0.402	0.201	0.0402	24.9
11	0.01824	0.569	0.1094	0.1532	0.383	0.192	0.0383	26.1
12	0.01756	0.548	0.1053	0.1475	0.369	0.184	0.0369	27.1
13	0.01689	0.527	0.1013	0.1419	0.355	0.177	0.0355	28.2
14	0.01625	0.507	0.0975	0.1365	0.341	0.171	0.0341	29.3
15	0.01552	0.484	0.0931	0.1303	0.326	0.163	0.0326	30.7

표 6

엑스-레이로 자동차 차체 코팅을 경화하기 위한 작업 시간(processingtimes)(전자 에너지는 7 MeV, 빔 전류는 100mA, 빔 전력은 700kW, 도입량은 40kGy, 폭은 2m, 길이는 5m임)								
강철 깊이 mm	에너지 증착 MeV cm ² /g	비율표면/ 깊은곳	철 면적 K 작용인자 kGy m ² / mA min	아크릴레이트 면적 K작용인자 kGy m ² / mA min	면적 비율 m ² /min	라인 속도 m/min	중화 속도 자동차 차체 /min	중화 시간 min/자동차 차체
1	0.04182	1.000	0.2509	0.3513	0.878	0.439	0.0878	11.4
2	0.03868	0.925	0.2321	0.3249	0.812	0.406	0.0812	12.3
3	0.03715	0.889	0.2229	0.3121	0.780	0.390	0.0780	12.8
4	0.03507	0.839	0.2104	0.2946	0.737	0.368	0.0737	13.6
5	0.03299	0.789	0.1979	0.2771	0.693	0.346	0.0693	14.4
6	0.03122	0.746	0.1873	0.2622	0.656	0.328	0.0656	15.3
7	0.02961	0.708	0.1776	0.2487	0.622	0.311	0.0622	16.1
8	0.02870	0.686	0.1722	0.2411	0.603	0.301	0.0603	16.6
9	0.02714	0.649	0.1629	0.2280	0.570	0.285	0.0570	17.5
10	0.02577	0.616	0.1546	0.2165	0.541	0.271	0.0541	18.5
11	0.02498	0.597	0.1499	0.2098	0.524	0.262	0.0524	19.1
12	0.02429	0.581	0.1457	0.2040	0.510	0.255	0.0510	19.6
13	0.02289	0.547	0.1373	0.1923	0.481	0.240	0.0481	20.8
14	0.02223	0.532	0.1334	0.1867	0.467	0.233	0.0467	21.4
15	0.02161	0.517	0.1296	0.1815	0.454	0.227	0.0454	22.0
16	0.02012	0.481	0.1207	0.1690	0.423	0.211	0.0423	23.7

타깃 물질 내의 전자 에너지 증착값은 외부 철 흡수재의 엑스-레이 에너지 증착값에 비해 대략 100배 더 높다. 만일 타깃내 최대 전자 에너지 증착값이 이들 도면들과 같이 보여졌다면, 철 흡수재내 엑스-레이 에너지 증착값은 거의 눈에 띄지 않을 것이다.

도 7, 8 및 10의 그래프와 표 4, 5 및 6의 데이터를 비교하면, 외부의 철 흡수재의 첫 번째 구역의 전자 당 엑스-레이 에너지 증착값은 엑스-레이 타깃상의 전자 에너지 입사와 함께 증가한다. 입사값(entrance values)은 5 MeV에서 0.0218로부터 6 MeV에서는 0.0320, 7 MeV에서는 0.0418로 증가한다. 5로부터 7 MeV로의 증가폭은 1.92의 비율이고, 이는 초기 전자 에너지의 비율의 제곱과 거의 같다, $(7/5)^2 = 49/25 = 1.96$. 이러한

결과는, 전자 에너지의 공급이 전자 빔 전류를 조절함에 따라 방출된 엑스-레이 전력이 증가한다는 실제 법칙과 일치한다. 만일 빔 전류가 일정하게 유지된다면, 엑스-레이 방출은 전자 에너지의 공급에 따라 증가한다. 다른 한편으로, 만일 빔 전력(에너지는 전류를 조절한다)이 일정하게 유지된다면, 그래서 만일 빔 전류가 전자 에너지 증가에 따라 감소된다면, 그 때 엑스-레이 방출값은 단지 전자 에너지의 첫 번째 전력에 따라 증가한다.

<147> 도 9 및 10의 그래프를 비교하면, 외부의 철 흡수재의 첫 번째 구역의 전자 당 에너지 증착값은 더 얇은 탄탈륨 타킷에 너무 높을 것으로 이해될 수 있다. 도 9에서, 철(iron)의 첫 번째 및 두 번째 구역간의 더 큰 감소는 첫 번째 철의 구역에 추가적인 에너지 증착이 타킷으로부터 낮은-에너지 전자로부터 일어난다는 점을 보여주는데, 이는 철의 첫 번째 밀리미터 내에서 멈춘다. 이러한 효과는 더 두꺼운 탄탈륨 타킷판을 사용한 도 10에서는 명백하지 않다.

<148> 자동차 부품상의 유기 코팅제는 철 흡수재보다 더 높은 전자 멈춤 능력을 가질 것이다. 그러므로, 철과 같이 동일한 이차 전자 영향에 노출될 것인, 코팅제 내의 에너지 증착은 그들의 전자 멈춤 능력 비율에 따라 철 내의 에너지 증착보다 더 높을 것이다. 멈춤 능력은 면적 밀도 1 g/cm^2 로 물질의 구역을 통과하는 전자에 의해 증착되는 MeV의 에너지로서 정의되어진다.

<149> 한 번 더, 코팅제는 폴리메틸 메타크릴레이트와 유사한 멈춤 능력을 가진 아크릴레이트 물질일 것으로 예측되어진다. 전자 멈춤 능력 비율은 비록 상기 비율이 전자 에너지 증가에 따라 약간 감소할지라도, 전자 에너지에 거의 독립적이다. 타킷에 의해 방출되는 제동복사(bremsstrahlung) 광자의 가장 예상 가능한 에너지를 포함하는 0.2 내지 0.5 MeV의 에너지 범위에서, 멈춤 능력 비율은 대략 1.4이다. 코팅내의 더 높은 에너지 증착은 도 11에 보여준 데이터에 의해 확인되어지는데, 이는 철 흡수재 상에 50 마이크로 아크릴릭 코팅이 있다는 가정하에 계산되어졌다. 코팅의 첫 번째 구역 내의 에너지 증착은 0.0585이고 철의 첫 번째 구역의 에너지 증착은 0.0420이다. 이 값들의 비율은 1.39이다.

<150> 도 7, 8 및 10의 감소 곡선은 전자 영역으로부터 엑스-레이 영역으로 완곡한 변화를 보여준다. 이것은 외부의 철 흡수재의 표면에서의 도입량이 이 물질 내에서의 급격한 감소와 일치한다는 점을 의미한다. 고-에너지 광자의 조준된 빔으로 발생하는, 표면-도입량 증대 효과는 없다.

<151> 5, 6 및 7 MeV 전자를 이용한 몬테 카를로 계산들로부터 얻어진, 철을 위한 엑스-레이 에너지 증착값은, 철 내의 1 mm 깊이 증가를 위하여 표 4, 5 및 6의 두 번째 컬럼에 나타내었다. 표면값에 대한 깊은 곳의 값의 비율은 세 번째 컬럼에 나타내었다. 철의 첫 번째 밀리미터 내에서의 감소는 표 6의 7 MeV 데이터에 대해서는 대략 7.5%이다. 반-값 깊이는 표 1 및 2에서 5 및 6 MeV 데이터에 대해서 대략 철 14 mm로 거의 동일하다. 7 MeV 데이터를 위한 반-값 깊이는 대략 철 15.5 mm로 약간 더 크다.

<152> 여섯 번째 컬럼에서 보여준 면적당 재료처리량 비율은 하기 식으로 계산되어졌다:

<153>
$$A/T = KI/D$$

<154> 상기 식에서, 면적당 재료처리량 비율, A/T는 sq m/min 의 단위이고, I는 mA 단위의 전자 빔 전류이고, D는 kGy 단위의 흡수된 도입량이다. 제품 컨베이어의 면적을 오버 스캐닝(over scanning)함으로써 빔 전류의 어떠한 손실에 대해서도 보정(correction)이 수행되어지지 않았다. 전자 빔 전류는 100 mA가 될 것이라고 예측되어졌고 코팅제내의 흡수된 도입량은 40 kGy가 될 것으로 예측되었다.

<155> 작용인자, K는 kGy sq m/mA min 단위의 면적 작업 효율인데, 이것은 $\text{MeV cm}^2/\text{g}$ 단위의 에너지 증착값의 6배와 동일하다. 철을 위한 K값은 네 번째 컬럼에 나타내었다. 표의 다섯 번째 컬럼에 나타내어진, 코팅을 위한 K 작용인자는 1.4의 철을 위한 K 작용인자로 곱함으로써 얻어지는데, 이는 철에 대한 폴리메틸 메타크릴레이트의 멈춤 능력 비율의 고유값이다. 여섯 번째 컬럼의 면적당 재료처리량 비율은 아크릴릭 코팅을 위한 더 높은 K 작용인자에 기초를 둔다.

<156> 일곱 번째 컬럼에 나타낸 라인 속도는 컨베이어 너비로 나눈 면적당 재료처리량 비율인데, 이 때 컨베이어 너비는 2 미터로 예측된다. 여덟 번째 컬럼에 나타낸 자동차 차체 경화 속도는 자동차 차체 당 컨베이어 길이로 나눈 라인 속도인데, 이 때 컨베이어 길이는 5미터로 예측된다. 자동차 차체 당 경화시간은 자동차 차체 경화 속도에 반비례한다.

<157> 가장 짧은 경화 시간은 가장 높은 엑스-레이 에너지로 얻어질 것이다. 코팅된 철의 표면에서의 에너지 증착에 기초하여, 자동차 차체당 경화 시간은 타킷 상에 100 mA의 전자 빔 전류와 코팅제에의 40 kGy의 흡수된 도입량으로 7 MeV 엑스-레이를 사용하여 대략 11분일 것이다. 경화 시간은 만일 도입량이 강철의 몇 밀리미터를

통과해서 전달된다면 표에서 보여지는대로 약간 더 길 것이다.

<158>

다른 한편으로, 경화 시간은 만일 요구되는 도입량이 더 낮았다면, 경화 시간이 도입량에 직접적으로 비례하기 때문에 더 짧아질 것이다. 예를 들면, 만일 도입량이 40 kGy의 예측된 값 대신에 20 kGy로 감소될 수 있다면, 표에 기록된 경화 시간은 반으로 감소될 것이다. 또한, 만일 자동차 차체가 두 개의 엑셀레이터로 반대편으로부터 비취었다면, 경화 시간은 거의 반으로 감소될 수 있고, 도입량 분포의 일정함이 향상되어질 수 있을 것이다.

<159>

이러한 몬테 카를로 시뮬레이션은 자동차 차체와 같은 복잡한 강철 구조물상의 유기 코팅제를 고-에너지 엑스-레이로 조사함으로써 경화될 수 있다. 이러한 종류의 에너지를 사용하는 주요 이점은 단순한 제품 컨베잉 시스템으로 성취될 수 있는 상대적으로-낮은 도입량 균등 비율(relatively-low dose uniformity ratios)이다. 자동차 차체 당 엑스-레이 경화 시간은 고-에너지 전자로 조사됨으로써 경화 시간보다 더 길어질 것이며, 이 때 전자 빔 전류는 동일한 것으로 간주되고, 상기는 입사 전자 빔 전력을 방출된 엑스-레이 전력으로 변환시키기 위한 상대적으로 낮은 효율 때문이다.

<160>

실시예 3: 코팅된 판과 판 스택(stacks)의 전자 빔 프로세싱

<161>

종래의 일렉트로코트와 프라이머로 전처리된 열다섯개 강철판(4" by 12")은 전자 빔 경화성 칼라(은색) 베이스코트로 스프레이 페인트되어졌다. 베이스코트한 후 모든 열다섯개의 페인트된 판에 종래의 클리어코트로 스프레이 코팅하였다. 이러한 판들 중 다섯 개는 10 kGy에서 50 kGy까지 증가시키면서 표준의 토테 트레이(tote trays)를 사용하여 고에너지 전자 빔 조사기(irradiator)(8 kW, 12 MeV)로 개별적으로 처리되어졌다. 베이스코트와 프라이머로 코팅한 나머지 열개의 판들은 다섯 개씩의 판으로 두 개의 스택으로 나누어 30 kGy와 40 kGy로 처리하였다. 도 12에 나타난 것과 같이, 각 판 스택 1200은 가장자리 구멍 1220을 통과해서 다른 하나에 볼트로 죄어지고 스페이스(spacer) 1230(0.25 인치 두께)에 의해 다른 하나로부터 분리되어지는 개별적인 판들 1210으로 구성되어진다. 더 나아가, 단지 일렉트로코트로 코팅된 단일의 판과, 단지 일렉트로코트와 프라이머로 코팅된 단일의 판은 10 kGy에서 50 kGy까지 증가시키면서 처리되어졌다.

<162>

각각의 통과 이후에, 코팅 밀도(consistency)가 측정되어졌다. 본 실험의 본래의 데이터는 하기 표에 나타내었다.

표 7

<163>

도입량 및 물질	조사 시간 (time of irradiation)	베이스코트의 반응	클리어코트의 반응
10 kGy 은판	13:58	점착성, 벗겨질 것임	여전히 젖은 상태, 벗겨짐
10 kGy 프라임 판	13:58	눈에 띄는 변화 없음	N/A
10 kGy E 코팅된 판	13:58	눈에 띄는 변화 없음	N/A
20 kGy 은판	14:14	벗겨질 수 없음	여전히 젖은 상태, 벗겨짐
20 kGy 프라임 판	14:14	눈에 띄는 변화 없음	N/A
20 kGy E 코팅된 판	14:14	눈에 띄는 변화 없음	N/A
30 kGy 은판	14:21	벗겨질 수 없음	여전히 젖은 상태, 벗겨짐
30 kGy 프라임 판	14:21	눈에 띄는 변화 없음	N/A
30 kGy E 코팅된 판	14:21	눈에 띄는 변화 없음	N/A
30 kGy 은 스택	14:21	모든 페인트 경화됨	여전히 젖은 상태, 벗겨짐
40 kGy 은판	14:30	벗겨질 수 없음	여전히 젖은 상태, 벗겨짐
40 kGy 프라임 판	14:30	눈에 띄는 변화 없음	N/A
40 kGy E 코팅된 판	14:30	눈에 띄는 변화 없음	N/A
40 kGy 은 스택	14:30	모든 페인트 경화됨	여전히 젖은 상태, 벗겨짐
50 kGy 은판	14:38	벗겨질 수 없음	여전히 젖은 상태, 벗겨짐
50 kGy 프라임 판	14:38	눈에 띄는 변화 없음	N/A
50 kGy E 코팅된 판	14:38	눈에 띄는 변화 없음	N/A

<164> 상기에서 기술한 바와 같이, 10 kGy(13:58)로 첫 번째 통과를 시킨 후, 모든 판들은 여전히 젖어 있고 베이스코트와 클리어 코트 둘다 쉽게 벗겨졌다. 20 kGy(14:14)로 두 번째 통과를 시킨 후, 베이스코트는 건조되었으나 클리어 코트는 여전히 젖어 있었다. 이것은 30 kGy(14:21)로 세 번째 통과, 40 kGy(14:30)로 네 번째 통과, 및 50 kGy(14:38)로 다섯 번째 통과 후의 경우를 남겨두었다. 베이스코트와 클리어코트로 코팅되어지지 않은 어떠한 판들로도 명백한 변화를 보이지 않았다. 온도에서도 현저한 변화가 없었다 - 50 kGy 판은 만지기에 따뜻했다.

<165> 코팅된 판의 스택은 30 kGy(14:21)로 세 번째 통과로 그리고 40 kGy(14:30)로 네 번째 통과로 처리되어졌다. 모든 베이스코트가 경화되었다.

<166> 이러한 실험을 근거로, 고에너지 전자 빔이 전자 빔 경화성 베이스코트를 경화하기 위하여 다수개의 강철판을 관통하는데 사용되어질 수 있다는 증거이다. 이러한 관통 능력은 자동차 차체의 윈도우 내의 코팅을 경화하기 위해 필요한 동일한 관통 능력이다. 따라서, 고에너지 전자 빔은 전자 빔 경화성 베이스코트를 경화하기 위해 자동차 차체의 윈도우를 관통하는데 사용되어질 수 있다. 베이스코트와 클리어코트는 전자 빔 또는 엑스-레이 경화성 베이스코트를 전자 빔 경화성 클리어코트와 결합하여 사용함으로써 동시에 경화되어질 수 있다는 점이 주의되어야만 한다.

<167> **실시예 4: 판 스택에서의 코팅된 판의 전자 빔 프로세싱**

<168> 자동차의 금속 프라이머는, 열세개의 6 인치 × 6 인치 아연 도금된 강철판의 각 측면에 적용하였다. 도 12를 다시 참조하면, 각 판 1210은 0.8 mm(1/32 인치)의 두께를 가졌다. 0.25 인치 직경을 가진 하나의 구멍 1220은 각 판 1210의 각 가장자리 안으로 꿰뚫어져서(drilled), 각 구멍 1220의 중심은 가장 가까운 가장자리로부터 0.5 인치였다.

<169> 13:00에 시작해서, 알루미늄 스프레더(spreader)는 열세개의 프라이밍판(primed plate) 1210 각각의 한 측면에 베이스 코트를 바르기 위해 사용되어졌다. 베이스 코트는 B95-0002U(이전에는 S 26992)의 상품명을 가진 것으로, 스트라쓰모어(Strathmore)(New York)사로부터 구매하였으며 이는 양이온, 블랙, 시클로알리파틱 에폭시 조제물로서 확인되었다. 열세개의 각 프라이밍 코팅된 판들 1210은 각각의 판 1210간에 1/4 인치의 대기 간격을 두면서, 중간매개체(intermediate) 0.25인치 두께의 스페이서 1230으로 판 스택 1200을 형성하기 위하여 하나를 다른 것의 정상에 스택으로 만들어지고 볼트로 죄어졌다. 전체의 페인팅 및 스택킹 작업은 삼십오분 걸렸다.

<170> 14:10에 시작하여, 판 스택 1200은 12 MeV 전자 빔 엑셀레이터로 생산된 전자 빔을 통과해서 1차 통과함으로써 조사되어졌다. 적용된 표면 도입량은 40 kGy이었다. 14:16에, 판 스택 1200의 판들 1210이 분석되어졌다. 바닥의 네 개의 판들 1210이 여전히 젖어있는 것으로 측정되어지는 반면 상부 아홉 개의 판들 1210은 경화되어진 것으로 측정되어졌다. 14:25에, 판 스택 1200은 뒤집어 얹어졌고 40 kGy의 표면 도입량으로 두 번째로 조사되어졌다. 14:33에, 판 스택 1200의 판들 1210은 다시 분석되어졌다. 모든 판들 1210은 경화되어진 것으로 측정되었다. 다음 날 7:30에, 판들 1210은 다시 분석되어졌다. 모든 판들 1210은 완전히 경화되어지고, 깨끗하고, 윤이 났으며, 매우 단단하게 마감(finish)되어졌다.

<171> 본 실험은 더 나아가 고에너지 전자 빔이 전자 빔 경화성 베이스코트를 경화하기 위하여 다수개의 강철판을 관통하는데 사용되어질 수 있다는 점을 확인한다. 요구되는 관통 능력은 디자인에 따라, 자동차 차체로부터 자동차 차체까지 변화되어질 것이다. 만일 0.8 mm 두께의 13개 강철판의 두께에 맞추어지도록 동일 밀도를 초과하는 관통 능력이 요구된다면, 이러한 추가적인 관통 능력은, 요구되어지는 관통 능력이 성취되어질만한 두 개 이상의 전자 빔 원(sources)을 전략적으로 위치시킴으로써 성취되어질 수 있다. 따라서, 고에너지 전자 빔은 전자 빔 경화성 베이스코트를 경화시키기 위하여 자동차 차체의 윈도우들을 관통하기 위하여 사용되어질 수 있다.

<172> 본 명세서의 모든 기술은 당업자에게 명백하고 많은 변경과 변형들이 본 발명의 기술요지나 범위를 벗어나지 않고 일어날 수 있다. 따라서, 본 발명의 범위는 청구범위의 한계와 법에 의해 정의된 어떠한 동등한 범위에 의해서 결정되어진다.

산업상 이용 가능성

<173> 본 발명은 고에너지 전자 빔 또는 엑스-레이를 이용하여 자동차 차체 상의 코팅을 경화시키는 방법에 관한 것으로, 자동차 코팅 산업에서 사용하는 비반응성 용매를 사용하지 않아도 되거나 사용을 줄일 수 있으며 즉각적인

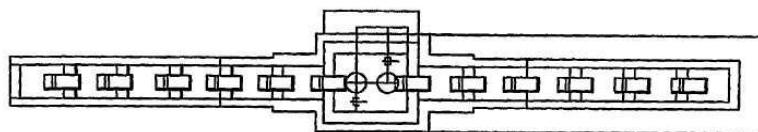
개시와 정지를 가능하게 할 뿐만 아니라 차체당 일본 미만으로 매우 빠른 경화 작업을 가능케 하고 저온 공정으로 수행될 뿐만 아니라 본 발명의 경화방법을 이용한 코팅은 더 긴 저장기간(shelf life)과 더 긴 가사시간(pot life)을 가지는 경향을 나타내고 더 좋은 경도, 용매 저항성, 염색 저항성 및 마모 저항성을 보여주며 더 좋은 광택, 더 훌륭한 구조 그리고 더 낮은 수축성(shrinkage)을 주고 더욱 에너지 효율적인 공정이며 종래 열오븐보다 바닥 면적(floor space)을 덜 요구하고, 설비(electron beam curing facilities) 경비도 오븐 경화 설비(oven curing facilities)와 유사한 장점을 가지므로 코팅 경화 산업상 매우 유용한 발명인 것이다.

도면의 간단한 설명

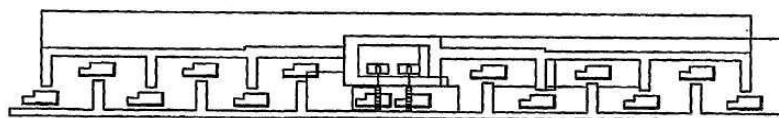
- <21> 도 1A는 본 발명에서 사용할 수 있는 수직 미로(maze)의 평면도이다.
- <22> 도 1B는 본 발명에서 사용할 수 있는 수직 미로의 측면도이다.
- <23> 도 2A는 본 발명에서 사용할 수 있는 수직 및 수평 미로의 평면도이다.
- <24> 도 2B는 본 발명에서 사용할 수 있는 수직 및 수평 미로의 측면도이다.
- <25> 도 3A는 본 발명에서 사용할 수 있는 수평 미로의 평면도이다.
- <26> 도 3B는 본 발명에서 사용할 수 있는 수평 미로의 측면도이다.
- <27> 도 4는 50 마이크론 아크릴 코팅으로 코팅된 철에서 5 MeV 전자 에너지 증착을 보여주는 그래프이다.
- <28> 도 5는 50 마이크론 아크릴 코팅으로 코팅된 철에서 7 MeV 전자 에너지 증착을 보여주는 그래프이다.
- <29> 도 6은 50 마이크론 아크릴 코팅으로 코팅된 철에서 10 MeV 전자 에너지 증착을 보여주는 그래프이다.
- <30> 도 7은 1.2 mm 탄탈륨(tantalum) 타깃을 사용한 철에서 5 MeV 엑스-레이 에너지 증착을 보여주는 그래프이다.
- <31> 도 8은 1.2 mm 탄탈륨 타깃을 사용한 철에서 6 MeV 엑스-레이 에너지 증착을 보여주는 그래프이다.
- <32> 도 9는 1.2 mm 탄탈륨 타깃을 사용한 철에서 7 MeV 엑스-레이 에너지 증착을 보여주는 그래프이다.
- <33> 도 10은 1.4 mm 탄탈륨 타깃을 사용한 철에서 7 MeV 엑스-레이 에너지 증착을 보여주는 그래프이다.
- <34> 도 11은 50 마이크론 아크릴 코팅으로 코팅된 철에서 7 MeV 엑스-레이 에너지 증착을 보여주는 그래프이다.
- <35> 도 12는 강철판 스택(stack)의 모습을 일례로 보여주는 것이고 아울러 이의 모서리(corner) 부분을 확대하여 보여주는 것이다.

도면

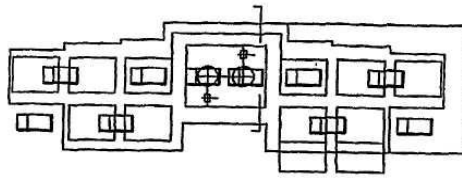
도면1A



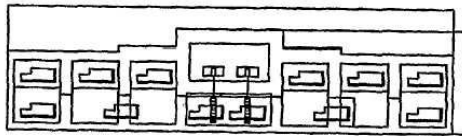
도면1B



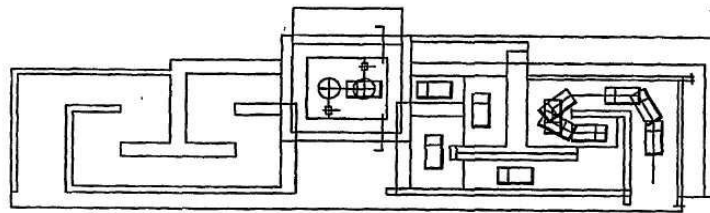
도면2A



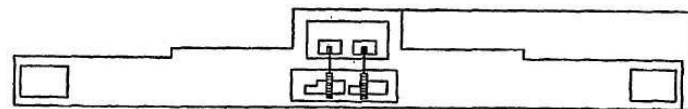
도면2B



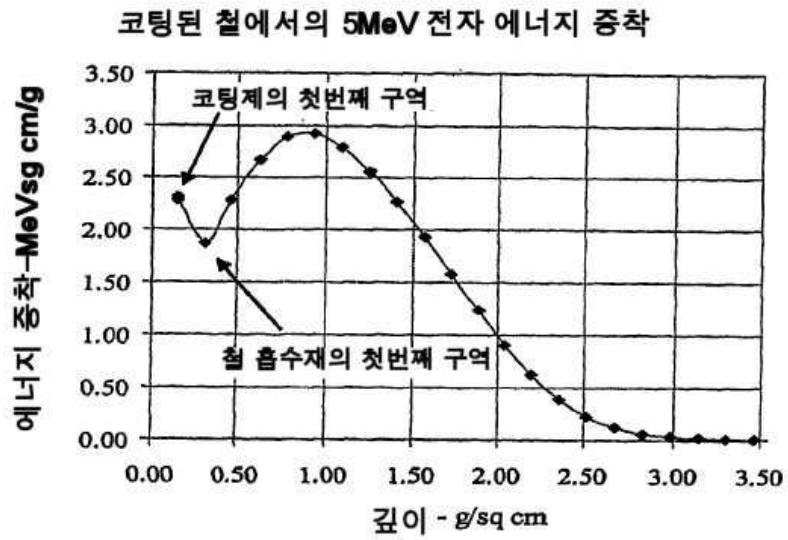
도면3A



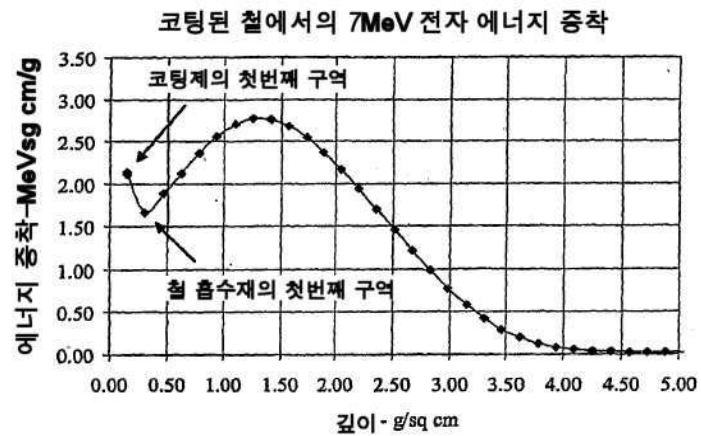
도면3B



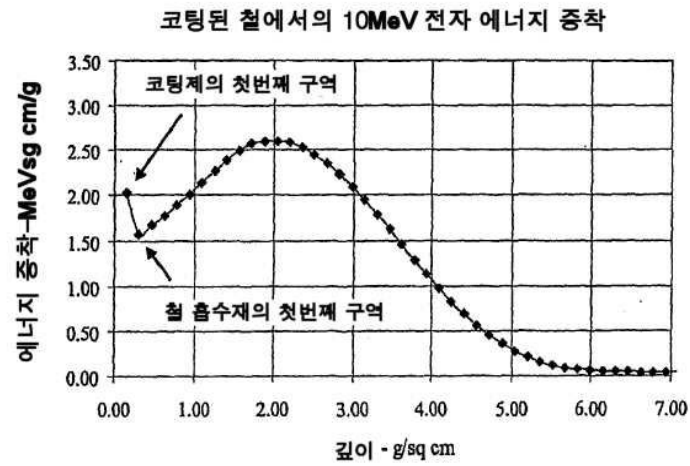
도면4



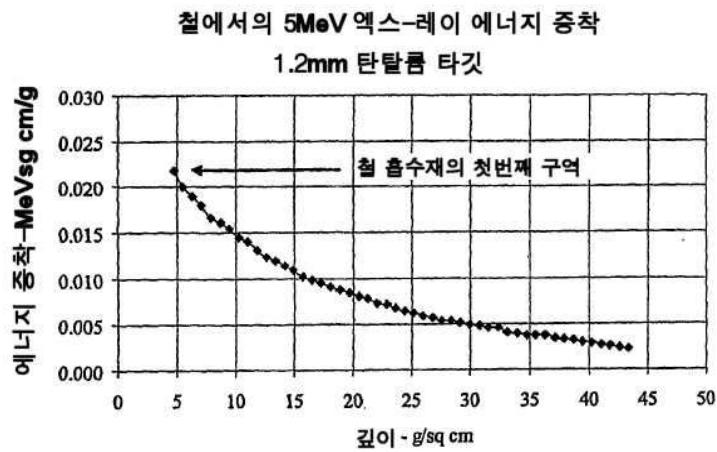
도면5



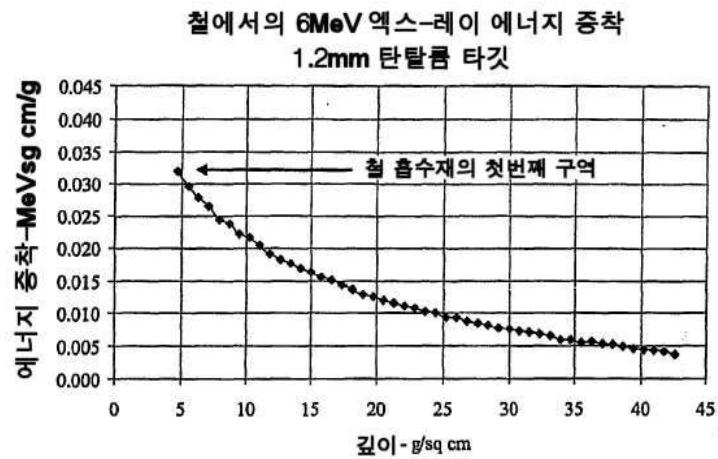
도면6



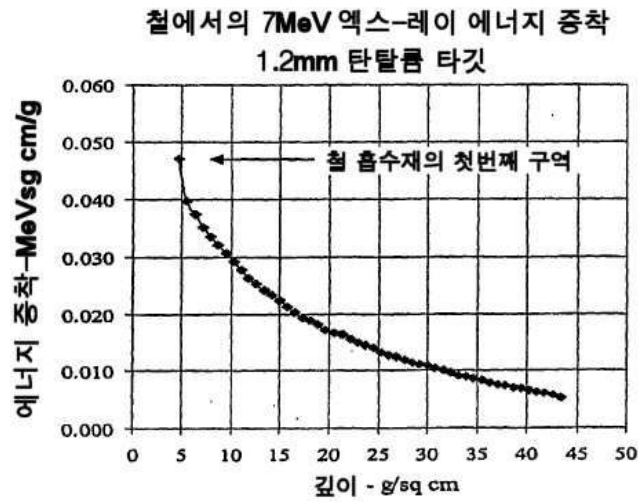
도면7



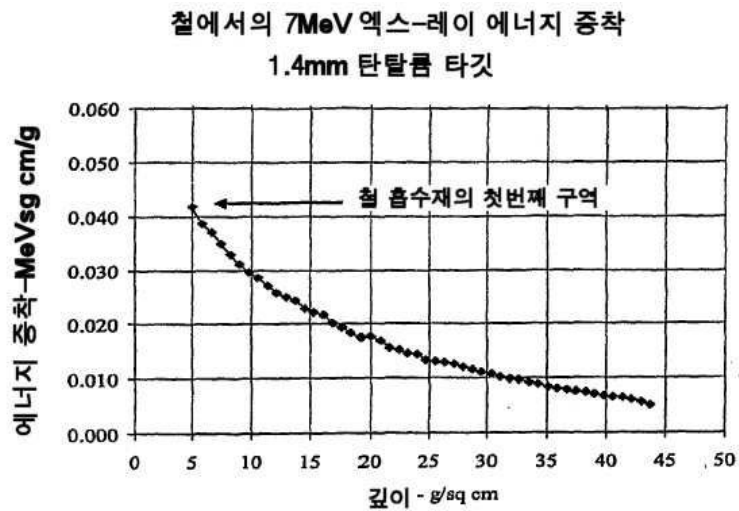
도면8



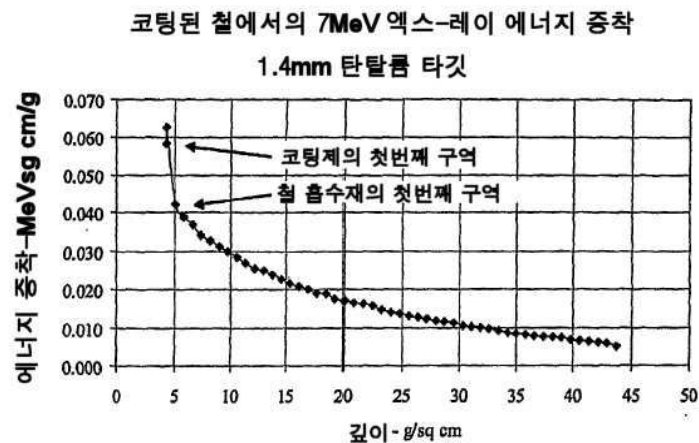
도면9



도면10



도면11



도면12

