

## 실 규모 태양열 집열판 제작을 위한 구리 및 알루미늄 기판에의 태양광 선택흡수박막 전착; Pulse Current Electrolysis 적용

이태규 · 김동형 · 김형택\* · 여운택\*\*

한국에너지기술연구소 태양에너지용융연구팀

\*아주대학교 에너지학과, \*\*삼진 정공 주식회사

### Application of Pulse Current Electrolysis to the Large Scale of Copper and Aluminium Substrates for Solar Selective Coatings on Solar Collectors

Tai Kyu Lee, Dong Hyung Kim, Hyung Taek Kim\* and Woon Tack Yeo\*\*

Applied Solar Energy Lab, Korea Institute of Energy Research

\*Department of Energy, A-ju University, \*\*Sam-Jin Precision Industry Co., LTD.

#### 요 약

태양열 집열판의 효율을 증대시키기 위하여는 집열판에 조사되는 태양광의 흡수율을 높이고 복사에 의한 열손실을 감소시키는 선택적 박막을 집열판에 입히는 것이 중요한 인자이다. 본 실험에서는 이와 같은 광학적 특성을 지니게 하고 동시에 전류효율이 우수한 pulsecurrent 전해법을 도입하여 실제 실용화 규모인  $230\text{ cm} \times 60\text{ cm}$  크기의 대형 기판에 선택흡수박막의 전착을 실시하였다. 도금액의 조성은 크롬산 280 g/l, propionic acid 15 g/l, 그리고 제 2첨가제 10 g/l이었으며, 도금 대상기판으로는 구리와 알루미늄이 사용되었다. 구리 기판의 경우에는 선택흡수박막의 흡수율이 약 0.98이고 복사율은 약 0.17의 광학적 성질을 보였으며, 300°C 공기 중에서 24시간동안 열처리 후에도 광학적 우수성을 지니고 있어 상품적 가치가 매우 우수하다고 판단되었다. 알루미늄 기판의 경우에는 흡수율이 약 0.97, 복사율이 0.15로서 광학적 성질은 구리 기판에 비해 다소 떨어지지만, 열전도도와 경제성을 고려하면 상품적 가치가 충분하다고 생각된다. 또한 이와 같은 대형기판을 적용하여 안정된 태양광 선택흡수박막의 성공적 제조로 공정의 단순화 및 대량생산 기술을 확보하였으며, 상용화에 돌입하게 되었다.

**Abstract** — It is one of the most important factors to enhance the efficiency of the solar collectors by increasing collecting efficiency and decreasing heat loss. The pulse electrodeposition method has been involved in this study to improve characteristics of the solar selective coating on  $230\text{ cm} \times 60\text{ cm}$  substrates and electrical efficiency of the process. The composition of the electrolyte was 280 g/l chromic acid, 15 g/l propionic acid, and 10 g/l appropriate additive.  $230\text{ cm} \times 60\text{ cm}$  copper and aluminium sheets were utilized as the substrates. It has been observed that the black chrome coatings exhibited reasonable optical properties for commercialization when the plating parameters were properly controlled; the absorptance was 0.98 and 0.97 and emittance was 0.17 and 0.23 for copper and aluminium substrate, respectively. This study implies that the pulse current electrolysis method could be applied to the large scale substrates, and the various products can be available after the consideration of the thermal conductivity, heat transfer efficiency and cost problems of the substrates.

#### 1. 서 론

전세계적으로 에너지 고갈과 더불어 지구촌 환경에

대한 위기 의식이 고조되면서 여러 형태의 대체 에너지 개발 및 융·용연구가 활발하여 졌으며, 산업 구조의 빠른 변화에 따라 에너지 절약에 대한 관심도가 증가하게 되

었다. 최근 대체에너지의 하나인 태양에너지의 이용이 증가하면서 국내외로 태양열 온수기의 보급도 증가 추세에 있다.

태양열을 이용하기 위하여는 우선 태양열을 모으는 집열시스템이 필수적이며, 그 모은 열을 사용할 곳으로 이동시킬 수 있는 전열매체를 포함한 순환시설을 갖추어야 한다. 태양광을 흡수하는 흑색의 흡열판 위에 유리덮개를 씌워 만든 철재틀을 집열기라고 부르며, 태양열시스템은 집열기 효율에 따라서 전체 시스템의 효율에 큰 영향을 받게 되므로 집열기 선택이 중요한 요소이다.

집열기 전체의 효율을 결정하는 가장 중요한 인자는 집열기의 종류에 관계없이 흡열판 표면박막의 흡수율 및 복사율이라고 할 수 있다. 현재 상용화 되어 있는 수입 흑색 페인트의 흡수율은 대개 0.9 이상인 반면에 집열판의 효율을 저하시키는 높은 복사율을 갖고 있는 것으로 알려져 있다. 그러므로 집열판 성능을 증대시키기 위하여 고려해야 할 인자는 집열 시스템의 집열 효율을 높이고 복사에 의한 열 손실을 줄이는 것이다. 즉 태양광 파장 중 에너지가 높은 단파장 영역엔 해당되는 0.2-0.5 μm 범위에서 흡수율이 100 percent에 가까워야 하며, 복사에 의한 열 손실을 최소화하기 위해 복사율이 아주 낮아야 한다. 이러한 광학적 성질을 갖는 선택 흡수막의 제조방법들 중에서 가장 경제적이고 장치 및 운전이 비교적 간단한 전기 도금법이 널리 사용되고 있다. 특히 현재까지는 대부분의 박막제조 방법으로 직류전해를 널리 활용하여 왔다<sup>[1-3]</sup>.

그러나 본 실험에서는 전기도금법 중 도금 층의 물성 및 전류효율을 향상시키기 위하여 pulse current를 사용하는 pulse 전해법을 사용하여 대형기판에 black chrome 선택 흡수막을 전착시켜 기존 제품과 광학적 특성을 비교하였다. 이 pulse current 도금 기술은 외부 회로로부터 공급되는 전류의 흐름을 지속적으로 개폐시켜줌으로써 박막을 석출하는 방법이다. Pulse current electrolysis 방법은 직류 전해법에 비해 균일한 박막표면을 얻을 수 있으며, 경제적이고, 도금층의 전착밀도가 높은 것으로 알려져 있다<sup>[4]</sup>. 이와 같은 새로운 pulse current electrolysis 공정은 새로운 black chrome 전해액을 조성하여 적용하였으며 이미 국내특허를 취득하였다<sup>[5]</sup>. 새로이 조성한 도금액을 중심으로 전해액 주요성분들의 전기화학적 거동에 대한 이론은 상세하게 소개한 바 있다<sup>[6]</sup>.

이러한 pulse 전해법의 활용과 함께 새로운 black chrome 전해액을 제조하여 니켈과 구리 등 소형기판에 대하여 광학적 성질 및 표면상태에 대한 분석이 자세하게 보고된 바 있다<sup>[7,8]</sup>. 이를 근거로 대형기판에 대한 최적의 전해조건을 찾았으며, 모든 원료 및 시스템 또한 실제 상용화를 위한 대형 도금조를 사용하였다.

## 2. 실험 방법 및 장치

### 2-1. 도금 장치

본 실험에서 사용된 도금조는 가로 280 cm, 세로 80 cm, 높이 129 cm의 실제 대형규모의 도금조를 사용하였으며, 도금액의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 도금조 외벽에 냉각수를 순환시켰다. 실제 조업 중의 도금액 용량은 약 2,600 liter였으며, 도금액의 온도는 18-20°C로 유지시켰다. 모든 원료사용 및 도금 전착실험은 대구의 삼진정공(주)의 현장에서 실시되었다.

도금시 음극으로 활용되는 230 cm × 60 cm 크기에 대상 금속기판은 도금조의 중앙부에 두 장의 기판을 포개어 위치하게 하고, 양극들은 양 측면에 놓아 동시에 두 장의 기판을 전착시킬 수 있도록 설계하였다. 악극으로는 납과 주석의 합금을 사용하였고, 3가크롬(Cr<sup>3+</sup>) 이온이 6가크롬(Cr<sup>6+</sup>) 이온으로의 산화반응이 발생하게 된다. 음극의 대상 기판은 열전도도가 우수한 구리 기판, 구리 기판에 니켈을 1차 도금한 것, 알루미늄 기판에 구리를 얇게 도금한 것과 역시 알루미늄 기판 위에 구리를 1차로 도금한 후 다시 2차로 니켈을 도금한 기판을 각각 사용하였다. 음극의 대상기판에서는 6가크롬이온의 환원반응이 일어나 black chrome 산화막인 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로서 대부분이 전착된다. 두 전극간의 거리는 30 cm로 일정하게 유지하였다.

Pulse current 도금에 사용한 Pulse current power supply는 경기도 광명시에 위치한 지상 전기회사에서 제작한 것으로서 사양은 최대 전류 5,000A, 최대 전압 15V이다. 한편 pulse on 및 pulse off time은 0.01 sec에서 9.99 sec까지 조절할 수 있도록 제작되었다.

### 2-2. 도금액 조성 및 도금 조건

본 실험에서 사용된 black chrome 선택 흡수박막 제조용 도금 전해액의 조성을 위하여 제반 화학약품들을 상업용으로서 저렴한 가격으로 구입이 가능한 것을 사용하여 도금액을 제조하였다. 본 도금액은 기존의 직류 전해용 도금액에 비교하여 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>야이 혼저히 적은 280 g/l을 함유하며<sup>[9]</sup>, propionic acid를 15 g/l, 그리고 제 2첨가제를 10 g/l의 농도로 첨가하였다.

제조한 도금액은 약 2시간 동안 전해시킨 후 대상기판의 단위 면적당의 전류를 계산하여 peak current를 결정하였다. 이 후 pulse on time과 pulse off time을 변화시키면서 black chrome 선택흡수박막의 전착을 실시하였다. Pulse current electrolysis에서 정의하는 parameter들을 Fig. 1에 명시하였다. 여기에서 pulse on time과 (pulse on+pulse off time)의 비를 duty cycle이라 하며, 이 duty cycle에 최대 전류인 peak current를 곱하여 평

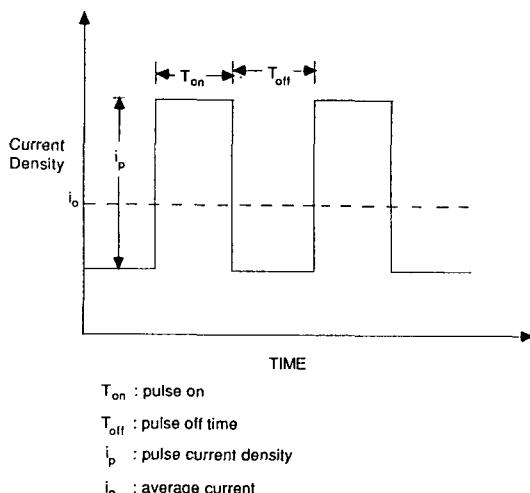


Fig. 1. Schematic diagram of the applied pulse current.

균전류밀도(average current density)를 산출할 수 있다.

### 2-3. 대상 기판의 전처리

Black chrome 선택흡수박막의 대상 기판으로 사용된 구리 기판 및 알루미늄 기판은 우선 1차적으로 수세과정을 거친 후 구리기판은 더 이상의 전처리를 실시하지 않고 그대로 사용하거나 니켈 strike 처리를 하여 사용하였다. 반면에 알루미늄 기판의 경우에는 일차로 이온치환법을 적용하여 표면을 처리한 후에 필요에 따라서 구리 strike and/or 니켈 strike 처리를 하여 사용하였다.

알루미늄 기판표면의 이온치환을 위하여  $\text{NaOH}$  120 g/l,  $\text{ZnO}$  20 g/l, 염화 제 2철 2 g/l, 노셀염( $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) 50 g/l이 첨가된 용액에 약 5분간 험침한 후에 수세하였다. 이는 전기도금을 실시할 때에 알루미늄 기판 표면에 구리나 니켈의 전착효과를 향상시키기 위하여 행하여졌다. 한편, 이온치환된 알루미늄 기판위에 구리 박막을 입히기 위하여 사용된 도금액의 조성은  $\text{CuCN}$  70 g/l,  $\text{NaCN}$  85 g/l, Potassium complexes 7 g/l로 하였으며, 직류전해법을 사용하여  $2.4 \text{ A/dm}^2$ 의 전류밀도로 1분간 행하였다.

또 다른 표면처리방법으로 알루미늄 기판표면에 구리 strike를 실행한 전착 대상기판에 다시 니켈 박막을 입히기 위하여, 구리 기판표면에 니켈 박막을 입히기 위한 도금액으로는  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  300 g/l,  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  50 g/l, 그리고  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 50 g/l를 첨가하여 제조하였다. 이에 사용한 니켈 전착방법으로는 직류 전해법으로서 약  $4 \text{ A/dm}^2$ 의 전류 밀도를 사용하여 1분간 실시하였다.

### 2-4. 광학적 특성 측정 장치

본 실험에서 최종 black chrome 선택흡수박막에 대한 복사율을 측정하기 위하여 미국의 Device & Service 회사의 Emissometer Model AE-AD1을 사용하였다. 이 emissometer는 사용이 간단하고 직접 대형기판의 제품의 부위별로 평균 복사율을 읽을 수 있는 장비이다.

한편, 단파장 영역에서의 black chrome 선택흡수박막의 흡수율을 측정하기 위하여 Perkin Elmer 회사의 UV/VIS Spectrometer Model Lambda II를 이용하였다. 이 Spectrometer는  $1.1 \mu\text{m}$ 에서  $0.3 \mu\text{m}$  영역의 흡수율의 평가에 활용할 수 있으며, 고체 또는 박막시료의 광장별 반사율을 측정하여 이 값들을 환산함으로써 흡수율을 계산할 수 있다.

## 3. 실험결과

### 3-1. 구리 기판

현재 상용화 되어있는 태양열 집열판의 기판으로 가장 많이 사용되고 있는 것은 구리판으로 알려져 있다. 이는 구리 기판이 열전도도가 높고 자체의 복사율이 낮으며, 비교적 쉽게 black chrome 도금층의 전착이 가능하기 때문이다. 따라서 본 실험에서는  $230 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$  크기의 구리기판의 기본적인 수세 처리후에 black chrome 선택흡수박막의 전착을 실시하고 이미 상용화되어 널리 사용되고 있는 미국산 black chrome paint를 니켈 기판과 구리 기판에 분사하여 복사율을 emissometer로 측정하여 비교하였다. 그 결과 니켈 기판과 구리 기판에 paint한 것들은 복사율이 각각 0.76, 0.75정도로 나타났으며, 구리 기판에 평균 전류밀도  $13 \text{ A/dm}^2$ , duty cycle 2/7, 도금시간 4분간의 조건으로 전착한 것은 복사율이 0.17로 측정되었다. 이는 pulse 도금으로 얻은 black chrome 박막층이 상품화된 paint보다 약 4배 이상의 열손실을 방지하고 있는 것으로 생각할 수 있다.

한편, 니켈 기판과 구리 기판에 painting한 박막의 흡수율과 구리 기판에 pulse 도금을 적용한 제품(C-1)의 흡수율을 UV/VIS Spectrometer로 측정한 결과를 Fig. 2에 도시하였다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 니켈 기판에 paint한 것의 흡수율은 약 0.95정도로 구리 기판 paint한 것의 0.915와 비교하여 다소 높은 것으로 나타났다. 한편, 구리 기판에 pulse 도금한 선택 흡수막의 흡수율은 약 0.98정도로 평가되었다. 이는 현재 상용되고 있는 미국산 paint보다 본 실험에서 독창적으로 개발한 pulse 전해액을 이용한 pulse current 도금법으로 제조한 black chrome 선택 흡수박막의 흡수율 및 복사율이 현저히 우수하다는 것을 입증해 주고 있다.

Table 1은 다양한 전해 조건에서 구리 기판에 black chrome 박막을 전착시킨 후 그 광학적 성질을 비교한

것이다.

Table 1에서 나타난 바와 같이 구리 기판에 전착된 black chrome 선택 흡수박막의 흡수율은 본 실험에서 행한 도금조건의 변화에 크게 영향을 받지 않는 것으로 관찰할 수 있다. 이는 pulse current electrolysis에서 전착된 박막의 흡수율은 전해액의 조성에 많은 차이가 나는 것으로 판단할 수 있다<sup>9</sup>. 한편, 전착된 black chrome 선택 흡수 박막의 복사율은 평균전류밀도가 높을수록, 그리고 도금시간이 길어 질수록 높아지는 것을 관찰할 수 있다. 이것은 도금시간의 증가에 따라서 전착되는 black chrome 박막층이 두꺼워지면서 흡수율이 증가하다가 어느一定程度에서는 더 이상 흡수율은 높아지지 않는 경향을 나타내고 있다. 반면에 도금시간의 증가에 따라서 전착되는 black chrome 박막층의 복사율은 높아져 박막의 효율이 감소하고 있음을 설명하고 있으며 이는 Lee *et al.*<sup>9</sup>에 의하여 발표된 소형기판의 분석결과와 일치하고 있다.

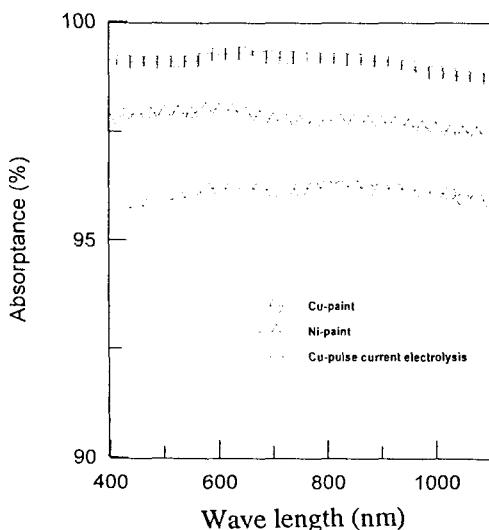


Fig. 2. Absorptance as a function of wavelength of the black paint on nickel and copper substrate along with black chrome thin film deposited on copper substrate by the pulse electrolysis method.

이와 더불어 전착시료의 aging test를 실시하여 박막의 열적 안정도를 평가하기 위하여 구리 기판에 전착시킨 박막들 중에서 광학적 성질이 우수한 시료 C-1을 선택하여 300°C의 공기 중에서 24시간 동안 열처리 한 후 흡수율을 UV/VIS Spectrometer로 측정한 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 흡수율이 열처리 전 박막의 값과 비교하여 약 0.965정도로 초기값보다 다소 감소한 것으로 츩정되었다. 그러나 이와같은 열처리 후에도 미국산 paint보다 현저히 우수한 흡수율을 나타내며, 열처리 후의 복사율은 0.13으로 츩정되어 C-1박막은 상품적 가치가 뛰어나다고 할 수 있다.

한편, 태양열 집열판의 복사율을 더욱 낮추기 위한 시도로서 구리 기판표면에 니켈 박막을 입힌 후에 black chrome 박막을 전착하여 흡수율 및 복사율을 비교, 분석하여 그 결과를 Table 2에 요약하였다.

Table 2에서 보는 바와 같이 구리 기판에 니켈 strike 처리를 한 후에 black chrome coating을 한 시료의 흡수율은 니켈 strike 처리를 하지 않은 시료와 비교하여 큰 차이가 나지 않는 것을 알 수 있다. CN-1과 CN-2를 비

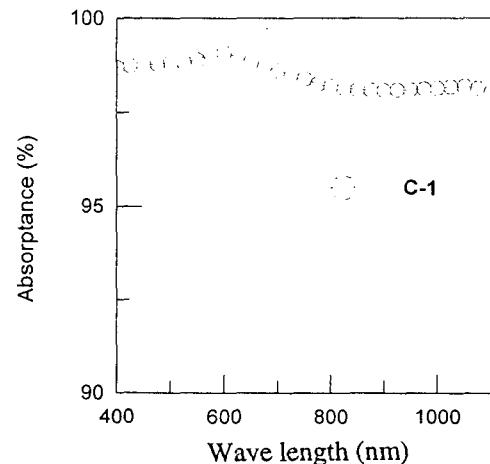


Fig. 3. Absorptance of the black chrome thin film of sample C-1 after heat treated at 300°C for 24 hours.

Table 1. Optical properties of the black chrome selective coatings on copper substrates under the different plating conditions.

Sample ID	Average current density (A/dm <sup>2</sup> )	Duty Cycle	Plating time (min.)	Absorptance	Emittance
C-1	13	2/7	4	0.98	0.17
C-2	13	1/7	4	0.98	0.18
C-3	14	1/4	5	0.98	0.21
C-4	14	1/7	8	0.98	0.38
C-5	15	1/4	8	0.98	0.45

**Table 2. Optical properties of black chrome selective coatings on Cu substrates after nickel strike under the various plating conditions.**

Sample ID	Average current density (A/dm <sup>2</sup> )	Duty Cycle	Plating time (min.)	Absorptance	Emittance
CN-1	13	1/6	5.8	0.98	0.15
CN-2	13	1/6	6	0.985	0.16
CN-3	14	1/4	5	0.985	0.19
CN-4	14	1/6	4.5	0.98	0.17
CN-5	14	1/6	5	0.98	0.22
CN-6	14	3/8	7	0.98	0.34
CN-7	15	1/6	3.5	0.985	0.13
CN-8	15	1/6	5	0.98	0.19
CN-9	15	1/6	5.5	0.98	0.27
CN-10	15	1/6	8	0.98	0.39
CN-11	15	1/6	10	0.98	0.69
CN-12	16	1/6	4.5	0.98	0.21

**Table 3. Optical properties of black chrome selective coatings on Al substrates after copper strike under the various plating conditions.**

Sample ID	Average current density (A/dm <sup>2</sup> )	Duty Cycle	Plating time (min.)	Absorptance	Emittance
AC-1	15	1/6	5	0.97	0.23
AC-2	15	1/6	5.5	0.97	0.3
AC-3	15	1/6	6	0.965	0.35

교하면 낮은 평균 전류밀도에서는 전착 시간의 근소한 차이로 흡수율과 복사율의 변화가 다소 발생하는 것을 관찰할 수 있다. CN-3에서부터 CN-11까지의 제품들의 특성을 관찰하면 동일의 도금 조건에서는 도금 시간이 길수록, 복사율이 높아지는 것을 알 수 있다.

앞에서 기술한 결과들을 토대로 하여 상품성이 비교적 우수하다고 판단할 수 있는 CN-1, CN-3 그리고, CN-7 박막제품들의 열적 안정도를 시험하기 위해 300°C에서 24시간 동안 열처리 한 후 흡수율과 복사율을 측정하였다. 그 결과로서 열처리한 후 박막의 흡수율들은 각각 0.91, 0.97, 그리고, 0.98정도인 것으로 나타났다. 이 결과로 부터 black chrome 선택흡수박막의 열적 안정성은 도금 시간의 길고 짧음보다는 평균 전류밀도가 중요한 인자로 작용하는 것을 알 수 있다. 즉, 평균전류밀도가 높을수록 black chrome 선택흡수박막의 열적 안정성이 우수한 것을 알 수 있다. 이들의 복사율은 열처리 후에 각각 0.13, 0.15, 그리고 0.1정도로 더욱 낮은 값을 나타내어 상품적 가치는 충분하지만 nickel strike 처리에 의한 추가비용으로 인한 경제성도 고려해야 할 것이다.

### 3-2. Al기판

열전도가 우수한 구리 기판 대신에 비록 열전도도

는 다소 떨어지지만 가격이 저렴한 알루미늄 기판을 사용하여 black chrome 박막의 전착을 실시하였다. 그러나 일반적으로 알루미늄 기판 자체에 black chrome 박막의 전착이 용이하지 않기 때문에 구리 피막이나 니켈 피막을 알루미늄 표면에 입힌 후에 black chrome 박막을 전착시켰다. 이를 위하여 알루미늄 기판을 이온치환법으로 표면을 처리한 후 구리 피막을 입혔다.

여러 pulse 전해조건에서 알루미늄 기판에 구리 피막을 입힌 후에 전착시킨 black chrome 산화박막의 광학적 특성을 UV/VIS Spectrometer 및 emissometer를 이용하여 측정한 결과들을 Table 3에 나타내었다.

Table 3에서 관찰할 수 있듯이 구리 기판에 전착시킨 black chrome 선택흡수박막의 경우와 마찬가지로 도금 시간이 길어 질수록 복사율이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한, 구리 기판의 경우와 비교할 때 복사율이 다소 높지만, 선택 흡수박막의 흡수율은 0.97정도를 나타내 상품적 가치는 충분하다고 사료된다.

Table 3에 열거된 시료들 중에서 광학적 성질이 우수한 AC-1을 선택하여 내구성 및 열적 안정성 test를 위하여 300°C에서 24시간 동안 열처리한 후 흡수율을 측정 하여 Fig. 4에 도시한 결과, 흡수율은 열처리 전의 흡수율인 0.97정도에서 약 0.96정도로 감소하였지만, emissometer로 복사율을 측정한 결과 열처리 후에 복사율

은 약 0.17로 나타났다. 이는 알루미늄 기판을 사용하여 도내구성이나 열적 안정성이 구리 기판의 경우와 비교하여 결코 뒤지지 않음을 시사하고 있다.

구리 기판의 경우와 마찬가지로 태양열 집열판의 복사율을 낮추기 위한 방법으로 알루미늄 기판에 구리 박막을 입힌 후 다시 니켈 박막을 입힌 다음에 최종적으로 black chrome 박막을 전착시켰다. 이 제품들의 흡수율 및 복사율을 측정, 분석하여 그 결과를 비교할 수 있도록 Table 4에 수록하였다.

Table 4의 결과를 Table 3과 비교하여 보면 알루미늄 기판에 니켈 strike 처리 후에 전착시킨 black chrome 박막의 광학적 성질이 다소 우수한 것으로 나타나고 있다.

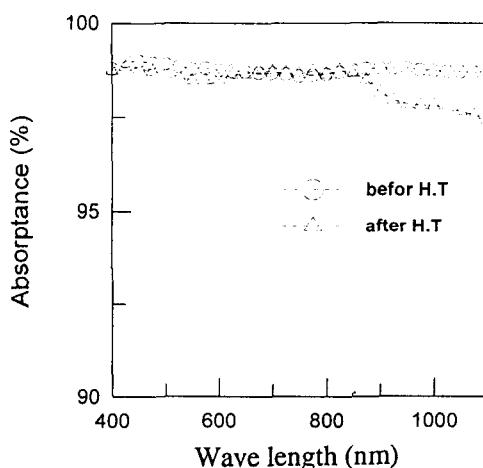


Fig. 4. Absorptance of the black chrome thin film of sample AC-1 before and after heat treated at 300°C for 24 hours.

동일한 실험조건에서 black chrome 박막을 전착한 제품들인 ACN-2와 AC-1을 비교하여 ACN-2의 복사율이 다소 낮은 것은 black chrome 박막층 바로 아래층에 위치한 니켈 박막의 복사율이 낮은 데에 기인하는 것으로 사료된다.

Table 4에 열거한 시료 중에서 광학적 성질이 우수한 ACN-1을 선택하여 내구성 및 열적 안정성 test를 위하여 300°C의 공기 중에서 24시간 동안 열처리하였다. 열처리한 후의 박막의 복사율과 흡수율은 각각 0.15, 0.97정도인 것을 관찰할 수 있다. 이는 알루미늄을 기본금속기판으로 사용하여 구리 strike 처리 후에 다시 니켈 strike 처리한 기판도 내구성이나 열적 안정성이 우수하여 열전달 효율 문제점과 단계 공정의 경제성이 해결되면 상용화 시키기에 부족함이 없다고 사료된다.

#### 4. 결 론

기존에 많이 활용되고 있는 black paint의 spray 방식으로 생산한 태양열 집열판과 흡수율 및 복사율을 비교할 때, pulse electrolysis 방법으로 제작한 black chrome 선택흡수막은 기판의 종류에 따라 다소 차이는 있지만 흡수율 0.97이상, 복사율 0.23이하의 아주 우수한 광학적 성질을 나타냈다. 이는 pulse current electrolysis의 전해 조건을 기판의 성질에 따라 조절하면 구리 및 알루미늄 기판 위에 우수한 광학적 성질을 갖는 black chrome 선택흡수박막의 전착이 성공적으로 이루어지고 있는 것을 의미한다. 본 실험에서 실시한 기판의 종류 및 도금 조건의 변화에 따른 광학적 특성치를 Table 5에 요약하였다.

한편 본 실험에서 독창적으로 제조한 black chrome 전해액은 그동안 수입에 의존하였던 전해액보다 값이

Table 4. Optical properties of black chrome selective coatings on Alsubstrates after copper and nickel strike under the various plating conditions.

Sample ID	Average current density (A/dm <sup>2</sup> )	Duty Cycle	Plating time (min.)	Absorptance	Emittance
ACN-1	15	1/4	5	0.98	0.17
ACN-2	15	1/6	5	0.975	0.2
ACN-3	14	1/6	6	0.975	0.3

Table 5. Optical properties of black chrome selective coatings on Ni and Al substrates under the various plating conditions.

Sample ID	Average current density (A/dm <sup>2</sup> )	Duty Cycle	Plating time (min.)	Absorptance	Emittance
C-1	13	2/7	4	0.98	0.17
CN-1	13	1/6	5.8	0.98	0.15
AC-1	15	1/6	5	0.97	0.23
ACN-1	15	1/4	5	0.98	0.17

저렴하고, 첨가제가 적기 때문에 원가 절감에 크게 기여 할 것으로 사료된다. 또한 전해처리 후 환경오염의 원인 이 될 수 있는 chromic acid를 아주 적게 함유한 전해액을 제조하여 사용하기 때문에 폐수처리 비용도 절감할 수 있을 것으로 보인다. 위의 실험 결과에서 나타났듯이 태양열 에너지를 활용하기 위한 집열기의 효율을 극대화 시킬 수 있는 선택 흡수 박막은 기판의 종류에 따라 다소 차이는 있으나, 기판의 열전도도와 전체 집열기의 효율을 고려하고, 경제성을 분석하면 상품의 다양화도 가능하다고 여겨진다. 특히 본 실험에서는 그동안의 소형박막을 중심으로 확보한 기술을 230 cm × 60 cm의 대형박막에 적용하여 우수한 흡수율 및 복사율을 유지할 수 있었다. 이와함께 열적 안정성도 우수하여 외부에 오랜시간 노출시켜도 실제 태양열 집열판의 성능이 쉽사리 퇴화하지 않는 것을 알 수 있었다. 이러한 특성들은 상품화에 직접 연결이 가능하여 값싸고 태양열 집열판의 국산화를 달성시켰으며 태양에너지의 활용이 우수한 중남미나 동남아시아 등지에 태양열 집열판이나 태양열 이용 시스템을 수출을 도모할 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술처에서 시행한 연구소 보유기술의 중소기업 무상양허과제로 수행되었으며 과기처 관계자 및 삼진정공주식회사 제위께 감사를 표합니다.

### 참고문헌

- Pettit, R.B. and Sowell, R.R.: "Solar Absorptance

and Emittance Properties of Several Solar Coatings", *J. Vac. Sci. Technol.*, **13**, 596 (1976).

- Driver P.M.: "An Electrochemical Approach to the Characterization of Black Chrome Selective Surfaces", *Solar Energy Materials*, **4**, 179 (1981).
- Driver P.M. and McCormick P.G.: "Black Chrome Selective Surfaces", *Solar Energy Materials*, **6**, 159 (1982).
- Avila, A.J. and Brown, M.J.: "Design Factors in Pulse Plating", *Plating*, **58**, 1105 (1970).
- 이태규 외: 한국 특허 제 10577호 (1995).
- 이태규 외: "흑크롬 태양광 선택 흡수막 제조용 도금액의 개발 및 전기화학적 고찰", 태양에너지, Vol. 10, No. 1, (1990).
- Lee Tai K., Kim Dong H., Cho Suh H., and Auh P. Chungmoo: "The microstructural interpretation of the black chrome solar selective coatings by the pulse current electrolysis method", Proceeding of the 1992 International ASME Conference, Hawaii, April (1992).
- Kim Dong H., Lee Tai K., Cho Suh H., and Auh P. Chungmoo: "Electrodeposition of black chrome solar selective coatings by pulse current meyhod", Proceeding of the 1992 International ASME Conference, Hawaii, April (1992).
- Lee Tai K., Kim Dong H., and Auh P. Chungmoo: "The optical characteristics of black chrome solar selective films coated by the pulse current electrolysis", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **29**, 149 (1993).