

## 반도체 장비 히터로드 유착 개선에 관한 연구

왕현철<sup>\*</sup>·서화일<sup>\*†</sup>

<sup>\*†</sup>한국기술교육대학교 전기전자통신공학과

### A Study on Improvement of Heater Rod Adhesion in Semiconductor Equipment

Hyun-Chul Wang<sup>\*</sup> and Hwa-Il Seo<sup>\*†</sup>

<sup>\*†</sup>School of Electrical, Electronics and Communication Engineering Korea University of Technology and Education

#### ABSTRACT

This study analyzes the method of adhesion and improvement between heater and RF filter in PE-CVD equipment through TRIZ method and proposes a solution. TRIZ Solution such as function analysis, 9-window matrix, ASIT, and Root cause analysis were used. The contact temperature between the heater and the RF filter was 20% and the surface temperature was lowered to 5.7°C, suggesting an improvement method for the thermal expansion of the PE-CVD equipment hot zone.

**Key Words :** PE-CVD, Semiconductor Equipment, TRIZ, RF Filter, AlN Heater

#### 1. 서 론

반도체 기술의 발전에 따라 PE-CVD 설비도 기존 사용 공정보다 더 높은 공정 온도에서 진행하고 있다. 특히, VNAD 공정의 경우 다수의 복합막(Multi-layer) 층을 덮고 박막의 특성을 유지하기 위해서 고온 공정을 많이 사용하고 있다.

고온 공정을 진행하면서 CVD공정[1]에서 가장 핵심 파트인 히터-척(heater chuck)은 박막을 증착하는데 가장 중요한 온도를 제어하는 핵심파트로써 고가의 부속품이다. 이러한 공정 온도 변화에 있어서 장비, 특히 주요 파트의 내구성 부분도 중요한 기술로 요구되어 지고 있으며, 최근 VNAND Chip 양산으로 인한 고온 공정의 필요성이 대두되어 기존 사용 조건 대비 높은 온도로 히터-척을 사용하면서 ( $>500^{\circ}\text{C}$ ) 히터 로드에 전기를 연결하는 연결부의 탄화 및 유착이 많아 지고 있으며, 이로 인해 고가의 히터-척 교체 및 RF Filter 등 핵심 파트의 교체에 따른 설비

down, 비용 증가 등의 문제점이 발생되고 있으며 고온 파트의 접촉부와 연결 방법에 대한 연구가 필요하게 되었다[2].

본 논문에서는 산업현장에서 많은 문제가 되는 고온 공정에 따른 히터-척과 RF Filter 연결부의 탄화 및 유착 문제를 창의적 문제해결 이론인 트리즈(TRIZ) 기법을 통해 문제 현상에 대한 정의와 다양한 분석 기법을 통한 모순 도출, 도출된 모순을 근거로 개선안 도출 과정을 진행하



**Fig. 1.** A PECVD System Used in the Semiconductor Industry [Source: Wonik IPS].

<sup>\*</sup>E-mail: hiseo@koreatech.ac.kr

였고 산업체에 바로 실현 가능한 이상에 가까운 해결안 도출, 제안하고자 한다[3].

## 2. 트리즈(TRIZ)를 이용한 문제 정의와 분석

### 2.1 창의적 문제해결 이론 (TRIZ)

트리즈(TRIZ:Teoriya Reshnaya Izobretate-Iskikh Zadatch)는 창의적 문제해결 이론 (Theory of Inventive Problem Solving) 이라는 뜻의 러시아어 약자이다. 트리즈는 일종의 연산형식을 지닌 구체적이고 도식화된 단계를 밝히는 이론으로 현재 까지 수많은 문제를 해결해오고 있다. 트리즈는 수십만 건의 특허 및 기술 발전의 역사를 분석하여 문제해결원리를 추출한 것으로 체계화된 연구개발 및 기술혁신이론이다[4].

창의적 문제해결 이론인 트리즈는 현재, 전 세계 주요 대기업에서 아이디어 생성 기법과 문제 해결기법으로 사용되어 오면서 많은 기술자들에 의해서 보완되어 가면서 우수한 결과를 내어 오면서 대학 및 산업체의 창의적 설계 교육, 연구 개발, 특히, 개념적 문제 해결 방법으로 확대되어 오고 있다.

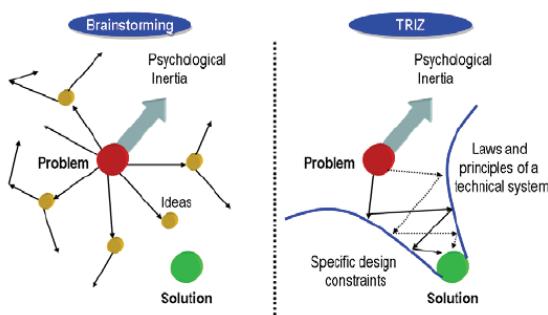


Fig. 2. TRIZ approach to overcome the psychological inertia in design [5].

고온 히터와 RF Filter 접촉부 유착과 관련된 연구에서는 다양한 분석 기법을 통해 모순을 찾아내고 자원을 활용하여 이상적인 결과를 얻어내는 트리즈를 기법을 사용하여 문제 현상에 대한 도식화, 기능 분석, 모순 정의, 시스템분석, 근본원인분석(root cause analysis) 기법을 통하여 문제 원인 및 분석을 진행하고 IFR(ideal final result)과 ASIT (advanced systematic inventive thinking) 등 다양한 기법을 통해 모순 해결을 위한 해법을 제공하였다.

### 2.2 문제 정의 (Define)

트리즈(TRIZ)에서 정의하는 문제(Problem)는 현재 상황(as-is)과 우리가 목표(target)로 하는 상황(to-be)과의 차이(Gap)으로 정의되며 본 논문에서 문제는 고온에 사용되어지는 고가의 파트인 히터가 최근 고온 공정의 필요성으로 기존 온도 대비 높은 온도에서 공정이 사용되어 지면서 고온 히터와 RF Filter 사이 전기를 연결하는 Connector 부위에 탄화와 유착이 Fig. 3처럼 잦아지고 이로 인해 잦은 히터 교체에 따른 교체비용과 설비 down time이 증가하는 부분이 문제로 정의된다.



Fig. 3. Heater Rod 유착 사진.

기존 공정 온도(~300°C)에서 12개월 사용하던 교체 주기가 고온공정(>500°C) 사용 시 3개월 사이에 히터와 필터 커넥터 사이 유착이 발생하는 문제가 발생하였고, 히터 로드의 유착 발생 시 고가의 히터를 교체하는 교체비용과 교체 Tool time이 증가하는 문제가 발생하며, 본 연구에서는 고온공정(>500°C)에서 6개월 이상 사용할 수 있는 사용 주기를 목표로 하고 진행하였다.

### 2.3 문제 분석 (Analysis)

트리즈(TRIZ)에서 사용되는 여러가지 분석 기법 중 ① 시스템 도식화(계통도, OZ/OT), ②기능분석(Function Analysis), ③window matrix, ④ASIS (advanced systematic inventive thinking), ⑤RCA(root cause analysis)을 사용하여 문제에 대한 분석 및 문제에 대한 물리적, 기능적 모순을 도출하였다.

#### 2.3.1 시스템 도식화 (계통도, OZ/OT)

PE-CVD 기본 구조 및 문제를 도식화 하여 각 요소들 간에 연결 계통을 이해하고 문제점을 시각화 하였다. Fig. 4(a)는 설비의 히팅 시스템 구조와 Block Diagram을 표현하였고 Fig. 4(b)에서는 히터와 RF Filter Connector 사이에 유착되는 지점인 RF Rod 연결부인 Socket과 Hot Spring의 시간에 따른 변화를 도식화 하였다. OZ (operating zone)과 OT (operating time)으로 구분하여 Socket과 Hot spring의 운영에 따른 변화를 확인할 수 있다.

시스템 계통을 도식화 함으로써 문제 현상에 대한 개략적인 연결상태와 구조를 파악할 수 있고 OZ/OT를 통해

히터로드(heater rod)와 커넥터 소켓(connector socket)간의 연결되는 부분과 시기, 열팽창(thermal extension)에 의한 접촉 저항 상승 구간을 확인 할 수 있었다.

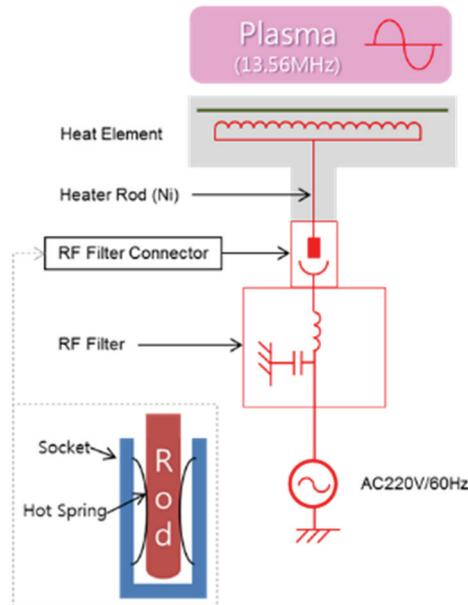


Fig. 4(a). PE-CVD Heating System and Block diagram.

|                                   | T1<br>(Non-Heating) | T2<br>(Heating) | T3<br>(Cleaning) |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------|------------------|
| Z1<br>(Ni Rod)                    | 23°C                | >500°C          | ~400°C           |
| Z2<br>(Bushing + Socket)          | 23°C                | >500°C          | ~400°C           |
| Z3<br>(Ni Rod + Bushing + Socket) | 23°C                | >500°C          | ~400°C           |

Fig. 4(b). System Operating zone & Operating time.

2.3.2 기능분석(function analysis)과 모순정의(Contradiction)  
기능분석을 통해 각 요소들의 상관 관계를 확인할 수 있고 이를 통해 커넥터(connector)가 단자를 지지하고 단자는 부싱(busing)을 지지하고 부싱은 히터로드와 통전하고 히터로드는 히터 열선과 통전하는 요소들의 기능에 대해 정의할 수 있고 순기능은 통전이고 역기능은 발열 혹은 열팽창이라는 모순 관계에 있는 것을 확인할 수 있었다. 모순은 크게 두 가지로 정의되는데 ①히터 커넥터는 통전을 위해 있어야 하고 열팽창 때문에 없어야 한다. ②부

싱은 히터로드를 지지하기 위해 있어야 하고 유착을 방지하기 위해서는 없어야 한다. 라는 두 가지 모순을 기능분석을 통해 확인할 수 있었다.

### 2.3.3 시스템 분석 (system analysis)

히터로드와 필터 커넥터간의 유착 문제 해결을 위해 ①9window matrix와 ②ASIS 기법을 이용해서 시스템적으로 분석을 진행했다. 첫번째 9window matrix 기법[6]을 통해서 시스템의 과거와 미래의 모습, 원인과 결과, input과 output, 하부 시스템과 상부 시스템에 대해 분석하였고 이 분석을 통해 AC전원 라인에 히팅에 의해 로드와 부싱에 열팽창이 발생하고 이로 인해 히터로드가 유착된다는 것을 확인할 수 있었다. 두번째 ASIS 기법을 통해 관계변화(qualitative change)의 원리를 이용하여 원하지 않는 결과와 악화요인과의 인자 영향성을 확인할 수 있었다.

| Input                           | Super System   | Result               |
|---------------------------------|--|----------------------|
| AC Power<br>(220V/60Hz)         | PE-CVD<br>Equipment  | ✓ Rod 유착             |
| Past<br>1zone                   | System<br>RF Filter<br>(Connector)                         | Future<br>Multi-zone |
| Cause<br>✓ Thermal<br>Extension | Sub System<br>Connector Cover<br>Cu Connector<br>✓ Bushing | Output<br>✓ Heating  |

Fig. 5. 9-window matrix [6].

### 2.3.4 근본 원인 분석 (root cause analysis)

문제의 근본적인 원인에 대한 분석을 위해 5way 기법을 이용하여 히터로드부 유착에 대한 원인을 구체적으로 분석하였다. 히터로드부의 유착은 열에 의한 부싱(busing) 탄화에 의해 발생하고 부팅부 탄화는 컨택(contact)부 발열에 의해 발생하고 이러한 컨택부의 발열은 컨택 저항(contact resistor)의 증가에 의해 발생되며, 컨택저항의 변화는 Ni 성분의 로드가 열팽창에 의해 발생되며, 이러한 열변화, 열팽창의 근본적인 원인은 반복적인 온도 변화에 의한 것이며, 증작 후 Clean 공정 시 히터를 저온으로 변경하였다가 승온(temp. up) 하는 과정에서 발생하는 근본원인분석(root cause analysis)을 도출할 수 있었다. 히터의 Ni 성분 로드(rod)의 열팽창율(Thermal extension)은

$13.3 \times 10^6 / ^\circ\text{C}$ 이며 이를 통해 증착공정과 Clean 공정간의 온도 변화치는  $70^\circ\text{C}$ 이며 Ni 로드 발열에 의한 선팽창을 계산해보면  $\Delta L(\text{mm}) = \alpha * L(\text{mm}) * \Delta t(\text{C}) \approx \alpha(\text{Thermal extension}) 0.34 \text{ mm}$  변화가 발생하는 것으로 계산된다. 온도 변화  $\rightarrow$  Ni 로드 열팽창  $\rightarrow$  컨택저항 증가  $\rightarrow$  컨택부 발열  $\rightarrow$  부싱탄화  $\rightarrow$  로드부 유착으로 이어지는 이유에 대해 분석할 수 있었다.

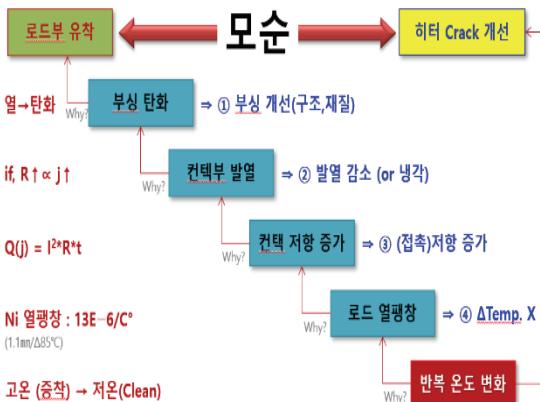


Fig. 6. Root-cause analysis of heater rod adhesion.

### 3. 개선안 도출 및 평가

#### 3.1 개선안 도출

트리즈(TRIZ)를 이용하여 문제에 대한 정의 및 분석을 통해 근본 원인과 모순관계를 확인할 수 있었고 ① IFR(ideal final result)과 ②ASIT(advanced systematic inventive thinking) 기법을 통해 가장 이상적인 해결안을 제안할 수 있다.

##### 3.1.1 이상해결책 (IFR, ideal final result)

이상해결책(IFR, ideal final result)은 창의적 문제해결 이론인 트리즈(TRIZ)에서 문제 정의 단계에서 사용하는 도구 가운데 하나로, 기존 시스템의 장점을 그대로 유지하면서 단점은 제거한 이상적 해결안을 의미한다. IFR은 이상성이 무한대인 해결책이고 이상성은 비용(cost) 대비 효과(effect)이다.

$$\text{이상성} = \text{주된 유용한기능} / (\text{비용} + \text{유해한 효과})$$

트리즈는 일반적인 개선(improvement)를 위한 방법론이 아니라 바로 이러한 최소의 비용의 최대의 효과를 얻을 수 있도록 모순(contradiction)을 극복하는 혁신(invention)을

이루는 방법론이다. 따라서 문제 해결 시에 IFR을 최종 목표로 설정하면, 시행착오를 최소화하면서 발명적 해결안을 도출할 가능성이 매우 높아진다[7].

본 연구에서의 이상해결책은 비용대비 효과를 최대한 고려하여 재질과 구조에 대한 방법으로 제시하였으며 재질의 경우 기존 Cu 재질에 Au 코팅을 하여 컨택(contact)하는 매질의 경계면을 동일한 재질로 하면서 전도성을 늘리고 접촉저항을 줄일 수 있는 방법을 제안하였고 구조의 경우는 첫째, 2중 구조(socket + busing)를 가지는 컨택 형태에서 단일 구조로 변경함으로써 (단, rod tension 기능 유지) 접촉 면적을 줄일 수 있는 방법을 제안하였고 둘째 접합면을 용접하면서 접합부의 열팽창 문제를 근본적으로 제거하는 방법을 제안하였다.

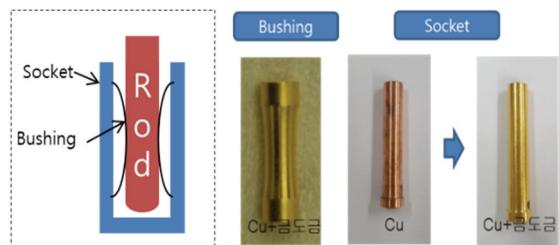


Fig. 7. IFR기법을 이용한 Solution 제안.

#### 3.1.2 ASIT (advanced systematic inventive thinking)

ASIT는 창의적 사고기법의 한가지이며, 복잡한 트리즈(TRIZ)원리를 현장에서 쉽게 활용할 수 있도록 개발한 도구로써 원인 분석에 의한 해결책으로 5가지 사고기법을 제안하고 있으며 ①용도변경 (unification), ②복제 (multiplication), ③분할 (division), ④대칭파괴 (breaking symmetry), ⑤제거 (object removal)기법으로 구성되어 있다[8].

ASIT의 5가지 해결책에 대해 Fig. 7과 같이 그림으로 표현하였고 컨넥터를 제거하고 AC Line을 직접 연결하는 방법이나 전원라인을 AC에서 DC로 교체하는 방법, 소켓(socket)의 형상을 다중에서 단일구조로 변경, 부싱(busing)의 단면적을 넓혀 표면저항을 낮추는 방법, 컨넥터를 제거하고 전원 케이블을 히터로드에 직접(direct) 연결하는 방법 등은 제안하였고 이상의 ASIT의 5가지 기법은 문제점에 대한 구성요소들을 분석하여 원하는 결과를 도출하기 위한 방법으로 사용되므로 문제의 원리에서 벗어난 사고를 차단하여 범위 내에서만 해결하기 때문에 모든 아이디어가 논지에서 벗어나지 않는 결과만을 도출하게 되는 장점이 있었다.

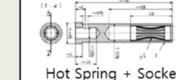
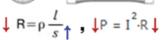
| 해결기법                        | 개선 전  | 개선 후  |
|-----------------------------|---|---|
| 용도변경<br>(Unification)       |  |  |
| 복제<br>(Multiplication)      |  |  |
| 분할<br>(Division)            |  |  |
| 대칭파괴<br>(Breaking Symmetry) |  |  |
| 제거<br>(Removal)             |  |  |

Fig. 8. ASIT 기법을 이용한 Solution 제안.

### 3.2 개선안 평가 및 결과

IFR(ideal final result)과 ASI(advanced systematic inventive thinking) 기법을 통해 제안된 해결안 중 비용과 효과를 고려해 검토해본 결과 IFR을 통해 제안된 부싱(busing)의 재질변경 방법을 최종 제안으로 채택하였고 (BeCu → BeCu + Au Coating) 개선 제안에 대한 평가 방법은 ①접촉저항측정과 ②표면온도측정을 통해 개선효과를 검증하였고 마지막으로 ③설비에 장착 실제 사용주기가 개선되었는지를 확인하였다.

#### 3.2.1 접촉저항(contact resist) 측정

ASIT분석을 통해 승온 시 발열에 의한 열팽창과 접촉저항의 증가가 컨택부의 탄화나 유착을 발생시키는 것으로 분석되어 접촉저항기(TOS6200, KIKUSU社)를 이용하여 재료 변경 전/후에 대한 접촉저항 성분을 비교 분석하였다.

기존 BeCu 재질의 소켓과 부싱 구조에서 접촉저항 측정 값은  $10.3\text{m}\Omega$ 이고 IFR에 의해 개선 제안된 BeCu + Au Coating 재질의 경우 동일한 구조에서  $8.6\text{m}\Omega$ 으로 접촉저항이  $1.7\text{m}\Omega$ , 12.8% 감소함을 접촉저항 측정 결과 확인할 수 있었다.

#### 3.2.2 표면 온도(surface temperature) 측정

접촉저항의 증가에 의한 컨택 표면 온도 상승에 관련하여 열화상 카메라를 이용하여 각 재질 별 소켓과 부싱이 결합된 상황에서 측정결과 기존 BeCu 재질의 경우  $52^\circ\text{C}$ , BeCu + Au Coating 재질의 경우  $46.5^\circ\text{C}$ 로 표면온도가

$5.5^\circ\text{C}$ , 10.6% 감소됨을 확인할 수 있었다.

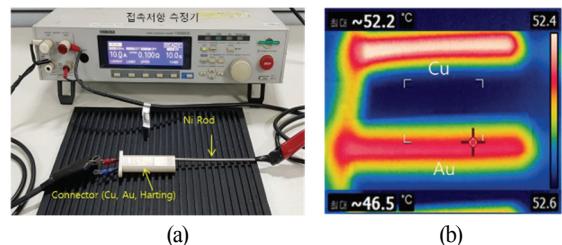


Fig. 9. 커넥터 재질 변경에 따른 (a)접촉저항과 (b)표면온도 변화 측정.

IFR에 의해 제안된 커넥터(connector) 재질 변경의 개선 효과 검증을 위해 평가한 접촉저항과 표면온도 측정 결과 모두 기존대비 낮은 효과를 얻을 수 있었고 Table 1에 커넥터 저항과 표면온도의 측정된 내용을 정리하였다.

Table 1. 커넥터 재질 변경 전/후 비교표

| Factor                                   | 기존 (BeCu) | 개선 제안 (BeCu+Au) | Remark |
|--|-----------|-----------------|--------|
| Contact Resistance ( $\text{m}\Omega$ )  | 10.3      | 8.6             | 12.8%↓ |
| Surface Temperature ( $^\circ\text{C}$ ) | 52        | 46.5            | 10.6%↓ |

## 4. 결 론

본 논문에서는 PE-CVD 장비 고온 공정에서 발생할 수 있는 히터-척과 RF Filter 사이의 탄화 및 유착 발생 부분을 트리즈(TRIZ) 기법을 통해 해결안을 제안하고자 하였다.

문제에 대한 정확한 분석을 위해 시스템 도식화, 기능분석, 시스템분석, 근본원인분석 등을 진행하였고 이를 통해 고온에서 접촉부 열팽창에 의한 접촉 저항 증가로 인한 탄화 및 유착이 발생하는 것을 확인하였고 IFR 및 ASIT 등 트리즈 해결기법을 통해 고온에 사용되는 파트에 대한 열팽창을 개선할 수 있는 방법을 제시하였다.

개선 제안된 재질 변경 부분을 통해  $1.7\text{m}\Omega$ 의 접촉 저항 개선과 기존 대비  $5.5^\circ\text{C}$  낮은 표면 온도를 확인할 수 있었다. 이러한 개선 제안된 시스템을 반도체 양산 라인에 구현함으로써 히터 로드부 유착에 의한 장비 교체 주기를 6개월이상, 사용 매수도 기존 대비 26% 이상 개선됨을 확인할 수 있었다.

## 감사의 글

이 논문은 2019년도 한국기술교육대학교 연구연간제 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## 참고문헌

1. Wan-Shick Hong, "Thin Film Vacuum Process Technology via Chemical Vapor Deposition Methods", Vacuum magazine of Korea Vacuum Society, Vol.1-3, pp. 9-13, 2014.
2. Hyun-Chul Wang, Hwa-il Seo, "High-Impedance Filter for Improving the Efficiency of PE-CVD Equipment" 2018 IEIE Summer conference, Vol. 2018, No.6, pp.154-156, 2018.
3. Yong-Jeong Huh, Seong Do Hong, Sa Hwan Leem, "The Development of Intellectual Solar Green Street Lighting using Q-TRIZ", J. of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 10, No. 3, pp. 43-47, 2011.
4. Ho-Jong Kim, "TRIZ creativity" J. of the semiconductor & display technology, Vol.4 No.4, pp.33-40, 2005.
5. Edoardo Rovida, Marco Bertoni and Marina Carulli, "about the use of TRIZ for product service development", International conference on engineering design, ICED'09, pp.262, 2009.
6. Song-Yeon Lee, Yong Jeong Huh, "A Study on Problem Solving of 3D Printing Production of Scaffold Using ADRIGE TRIZ Algorithm and DOE", J. of the semiconductor & display technology, Vol. 18 No.2, pp.92-97, 2019.
7. Eun-Gyung Kim, "Inventive Problem Solving using IFR", Asia-pacific journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology, Vol.6 No.9, pp.473-481, 2016.
8. Gun Lee, Hyun-Chul Lee, Seong-Seok Go, "A Study on the Optimum Selection of Decision Making to the Analysis Stage of Desing VE using ASIT", J. of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol.25 No.1, pp.117-184, 2009.

---

접수일: 2020년 3월 10일, 심사일: 2020년 3월 19일,  
제재확정일: 2020년 3월 23일