

PCB와 ACF를 이용한 77 GHz 슬롯 배열 안테나

77-GHz Slot Array Antenna Using PCB and ACF

윤평화 · 권오윤 · 송림 · 김병성

Pyoung-Hwa Yoon · Oh-Yun Kwon · Reem Song · Byung-Sung Kim

요 약

본 논문은 인쇄기판을 금속 구조물에 접착하여 제작한 77 GHz 도파관 슬롯 배열 안테나의 성능 평가 결과를 제시한다. 77 GHz 도파관을 상판과 하부 구조체로 나누어 상판은 저가로 미세 슬롯 구현에 유리한 인쇄기판을 이용하여 제작하고, 하부 구조체는 금속 가공하여 제작한 후, ACF(Anisotropic Conductive Film)을 이용하여 접합하였다. 안테나 성능 평가를 위해 1×16 슬롯 배열 안테나를 제안 방식으로 제작하고, 이득과 패턴을 측정하여 시뮬레이션 값과 비교하였다. 측정 결과, 이상적 접합 조건으로 시뮬레이션한 결과 대비 2.3~3.5 dB의 이득 저하가 나타났지만 패턴은 변화가 거의 없으며, 제안 방식을 이용하면 77 GHz에서 약 17 dBi의 이득의 슬롯 안테나를 저가로 간단히 제작할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

This study presents the performance evaluation results of a 77-GHz waveguide slot array antenna that was fabricated by attaching a patterned printed circuit board(PCB) on a metal block. The 77-GHz waveguide was divided into a top plate and a bottom structure. The top plate was fabricated using a patterned PCB that can implement a fine slot at low cost. The top cover was then bonded to the bottom metal structure with a waveguide trough using anisotropic conductive film. For evaluating the antenna performance, a 1×16 slot array antenna was fabricated using our proposed method and the gain and pattern were measured and compared with the simulation results. Though the measurement results demonstrate a reduction in gain of around 2.3~3.5 dB compared to the simulation results assuming ideal bonding conditions, the pattern hardly changed and the slot antenna with a gain of approximately 17 dBi at 77 GHz can be easily manufactured at a low cost using the proposed method.

Key words: Slot Array Antenna, Waveguide, ACF, 77 GHz Automotive Radar

I. 서 론

차량용 레이다에서 전방 감시용 레이다는 77 GHz 대역이 사용되며, 감지 거리를 늘리기 위해 배열 안테나가 필수적이다. 도파관 슬롯 배열 안테나는 고 이득, 고 효율

특성을 보인다. 무엇보다 고 강도인 동시에 부피가 작기 때문에 밀리미터파 시스템 응용에 좋은 후보군이며, 과거 군수용에서 최근 차량용 레이다 시스템까지 폭 넓게 사용되고 있다.

다양한 제작 기법을 통한 도파관 배열 안테나에 대한

「이 연구는 2016년도 산업통상자원부의 지원을 받아 산업핵심기술개발사업으로 연구되었음(No. 10051928).」

「이 연구는 2017년 과학기술정보통신부의 지원을 받아 한국연구재단-차세대 공학연구자 육성사업으로 연구되었음(No. 2017H1D8A2031628).」

성균관대학교 정보통신대학(College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University)

· Manuscript received September 4, 2018 ; Revised October 10, 2018 ; Accepted October 19, 2018. (ID No. 20180904-092)

· Corresponding Author: Byung-Sung Kim (e-mail: bskimice@skku.edu)

연구가 진행되어 왔다. X 밴드 도파관 안테나의 경우, 슬롯이 형성되어 있는 도체 상판과 도파관의 측벽과 하판에 해당되는 금속 블록을 가공한 후, 이 둘을 나사로 조립하는 방식으로 제작된다. 밀리미터파 대역에서는 안테나의 물리적 소형화가 가능하지만, 이를 구현하기 위한 미세 금속 가공과 접합기법이 요구되기 때문에 공정 난이도가 높아지게 된다. 금속 접합기법은 딥 브레이징(dip brazing), 확산접합(diffusion bonding), 그리고 전기성형 방식(electroforming) 등이 있으며, 이러한 방식을 이용하여 개발된 안테나는 밀리미터파 대역에서도 우수한 성능을 보이는 반면, 공정 난이도 때문에 높은 제작비용으로 대량 생산에 무리가 있다^{[1],[2]}. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 본 연구에서는 도파관 슬롯 배열 안테나 제작 방식을 새롭게 제안하고자 한다. 슬롯을 구성하는 상판은 저가인 동시에 미세가공에 유리한 PCB(Printed Circuit Board)로 제작되며, 이방성 도전 필름(anisotropic conductive film: ACF)과 열-압착 분딩(thermal-compression bonding)을 통하여 도파관의 하부 금속블록과 상판 사이를 전기적으로 접합한다. 전방 감시용 차량용 레이다 응용을 위해 77 GHz 슬롯 배열 안테나를 설계하였으며, 제안한 제작 방식을 이용하여 안테나를 구현 및 성능을 평가하여 그 가능성을 확인하고자 한다.

II. 본 론

2-1 제안한 77 GHz 슬롯 배열 안테나의 제작 및 설계

제안하는 도파관 슬롯 배열 안테나는 두 부분으로 나누어 제작된다. 먼저, 앞서 언급하였듯이 종래의 미세 가공방식을 대신하여 PCB로 슬롯이 포함된 상판을 제작한다. PCB는 유전층(dielectric)과 하부 금속층(bottom metal)으로 구성된다. 이때 하부 금속층을 에칭하여 슬롯 배열 안테나를 구현한다. 이후, 도파관 측벽과 하판 및 급전구조는 기존 금속가공을 이용하여 하나의 금속블록으로 제작한다. 즉, 난이도가 높은 미세가공은 PCB를 이용하고, 나머지는 기존 금속가공을 이용하는 방식이다.

이렇게 준비된 도파관 안테나의 상, 하부 구성체는 ACF로 접합한다. ACF는 폴리머 matrix에 미세한 전도성 볼들이 산포되어 있는 접착 필름이며, 고주파 소자 간 interconnec-

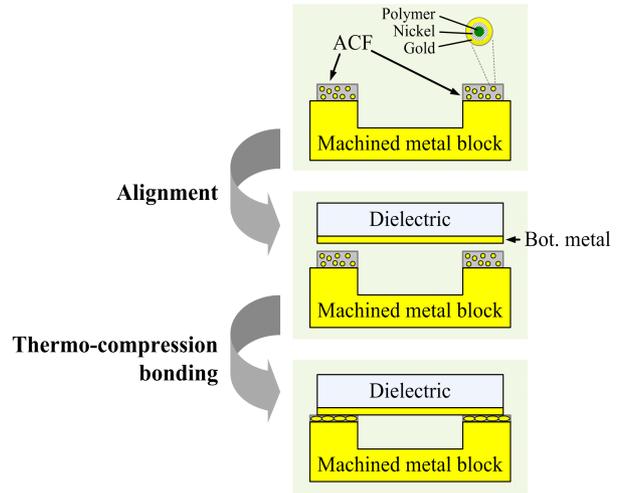


그림 1. 제안한 77 GHz 도파관 안테나 제작 과정
Fig. 1. Proposed fabrication process of a 77 GHz waveguide antenna.

tion에 전기적으로 우수한 특성을 보인다. 또한, ACF는 저가로 대량생산이 가능한 동시에 우수한 신뢰성을 보이기 때문에 flip-chip 분딩과 같은 밀리미터파 패키징 기술에 주로 응용되고 있다^{[3]~[5]}. 본 연구에서는 Dexerial사의 ACF(CP801AM-35AC) 제품을 사용하였으며, 해당 ACF를 구성하는 전도성 볼은 구형 폴리머에 니켈-금이 코팅되어 있는 구조이다. 따라서 접합지점의 전도도를 높이기 위해 상, 하부 도파관 구성체를 금도금한 이후, 열-압착 분딩을 진행하였다. 그림 1은 본 연구에서 제안하는 안테나 제작 방식과 구조도를 나타낸다.

안테나 설계를 위해 도파관은 77 GHz에서 기본 모드인 TE₁₀ 모드로 동작하도록 한다. 그림 2(a)와 같이 PCB의 상판 금속 층에는 16개의 슬롯이 일정한 간격으로 배열되고, 슬롯들은 균일한 크기와 동 위상에 가까운 전장을 방사하도록 관내 파장(λ_g)의 반 파장 간격으로 배치한다. 도파관의 닫힌 끝(closed end) 벽면이 도파관의 입력 임피던스에 미치는 영향을 최소화하기 위해 마지막 슬롯은 닫힌 끝에서 $1/4 \lambda_g$ 길이만큼 떨어뜨려 배치한다. 그림 2(a)와 같이 도파관 급전 구조는 WR-10이며, 금속블록의 밑면에 구현한다. 이러한 구조들이 모두 포함된 안테나의 최적화 및 전기적 특성 계산은 전자파 해석 툴인 HFSS를 이용하였다.

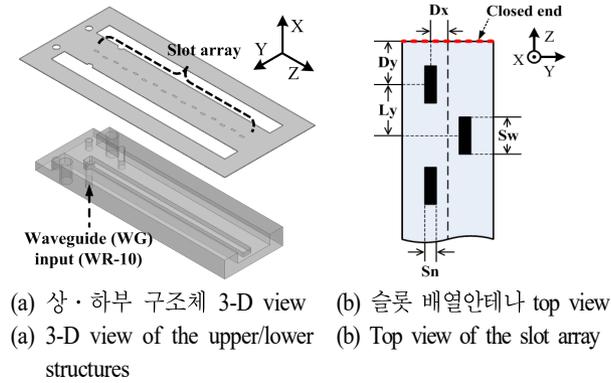


그림 2. 도파관 슬롯 배열안테나의 구조도
Fig. 2. The configuration of a waveguide slot array.

일반적인 도파관 슬롯 배열 안테나 구조와 다르게 상판의 하부 금속층을 지지하는 유전층이 존재하기 때문에 입력 임피던스 및 안테나 방사 패턴에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 따라서 시뮬레이션을 통해 이러한 유전층이 배열 안테나 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 유전층이 없는 경우(air)도 함께 시뮬레이션을 진행하여 비교하였다. 상판 PCB는 유전율 2.2, 손실탄젠트 0.0009의 RT/Duroid 5880(RO5880) 기판을 이용하였으며, 두께는 0.381 mm이다. ACF layer 없이 상부 기판과 하부 블록이 이상적으로 접합된 조건으로 시뮬레이션을 진행하였다. 이렇게 구한 세부 파라미터 값들과 시뮬레이션 결과를 표 1에 제시하였다. Air에 비해 슬롯의 장축 길이(S_n)가 줄어들었으며, 안테나 최대 이득(peak IEEE gain)은 약 0.3 dB 감소한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제안하는 77 GHz 슬롯 배열 안테나 구조에서 유전층이 안테나 특성에

표 1. 슬롯 배열 안테나 사이즈 및 시뮬레이션 결과
Table 1. Dimension of slot array antenna and their simulation results.

| Dielectric | D_x | D_y | S_n | S_w | L_y |
|-------------|--------------------------|-------|----------------------------|-------|-------|
| Air (mm) | 0.19 | 1.51 | 0.50 | 1.70 | 3.03 |
| RO5880 (mm) | 0.19 | 1.51 | 0.50 | 1.30 | 3.03 |
| Dielectric | Simulated peak IEEE gain | | Simulated total efficiency | | |
| Air | 20.4 dBi @ 77 GHz | | 98.1 % @ 77 GHz | | |
| RO5880 | 20.1 dBi @ 77 GHz | | 96.4 % @ 77 GHz | | |

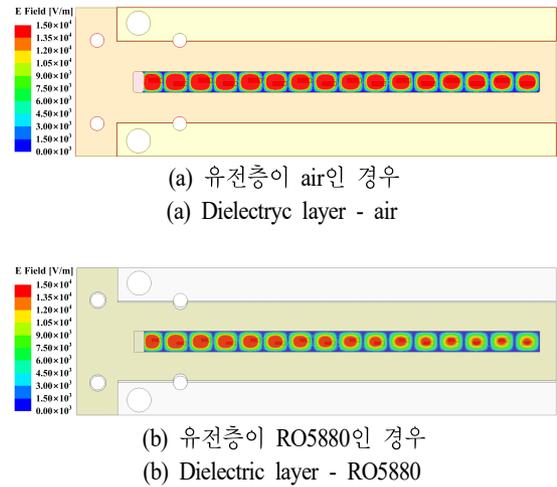


그림 3. 77 GHz에서 E-field 분포의 시뮬레이션 결과(yz-평면)
Fig. 3. The simulated E-field distribution at 77 GHz(yz-plane).

미치는 영향은 크지 않은 것을 확인할 수 있었다.

그림 3은 도파관 슬롯 배열 안테나의 E-field 분포의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 유전층이 Air와 RO5880 두 경우 모두 77 GHz에서 TE_{10} 가 정상적으로 형성된 것을 확인할 수 있었다.

2-2 슬롯 배열 안테나의 시뮬레이션 및 측정결과

그림 4는 제작된 슬롯 배열 안테나 실측 사진을 나타낸다. 그림 4(a)는 제작된 상판 PCB를 나타내며, 하부 금속

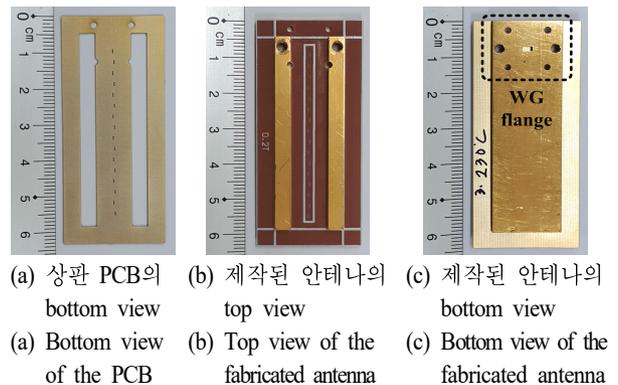


그림 4. 제작된 안테나 사진(RO5880 PCB)
Fig. 4. Photograph of the fabricated antenna.

층을 에칭하여 구현된 1×16 슬롯 배열 안테나를 보여준다. 그림 4(b)와 그림 4(c)는 상·하부 구조체가 ACF 공정으로 접합되어 있는 모습이다. 그림 4(b)에서 상부 RO5880 기판의 흰색 실선은 공정 시 필요한 alignment mark를 나타낸다. 제작된 안테나의 크기는 5×28×64 mm³이다.

먼저, 반사손실(return loss)와 방사패턴(radiation pattern)의 해석 결과를 실제 측정 결과와 비교하였다. 그림 5는 제작된 안테나의 S-파라미터의 시뮬레이션 및 측정 결과를 나타낸다. 시뮬레이션 된 반사손실은 10 dB 기준으로 75.85~77.95 GHz(2.10 GHz)의 대역폭 특성을 보인다. 또한, 제작된 안테나의 측정된 대역폭은 76~78.47 GHz(2.47 GHz)로 시뮬레이션과 잘 부합하는 것을 확인하였다. 무반향실에서 측정된 안테나의 방사 패턴 결과는 그림 6에 제시되었다. 77 GHz의 측정 주파수에서 시뮬레이션 결과와 유사한 패턴 형상을 확인할 수 있었다. 최대 이득 값을 비교해본 결과, 시뮬레이션 대비 3.5 dB 낮은 16.6 dBi의 측정값을 확인하였다. 이는 시뮬레이션 상에 포함되지 않은 ACF layer의 폴리머(matrix) 손실, 접합 부위의 접촉저항, 상·하부 구조체의 mis-alignment, 그리고 공정 tolerance 때문으로 예상되며, 향후 원인에 대한 정확한 추가 분석이 필요하다.

상부 기판을 RO5880 기판보다 저가인 FR-4 기판으로 대체하여 안테나를 추가 제작 및 특성평가를 진행하였다. FR-4는 유전율 4.4, 손실탄젠트 0.02의 유전 특성을 가지며, 두께는 0.2 mm이다. 동일한 과정으로 안테나를 제작하였으며, 그림 7은 제작된 안테나의 S-파라미터 측정 결과

를 나타낸다. 제작된 안테나는 반사손실 10 dB 기준으로 75.7~78.1 GHz(2.4 GHz) 대역폭 특성을 보인다. RO 5880의 경우와 비슷하게 FR-4의 또한 시뮬레이션 결과와 잘 부합하는 것을 확인할 수 있었다. 제작된 안테나 사이

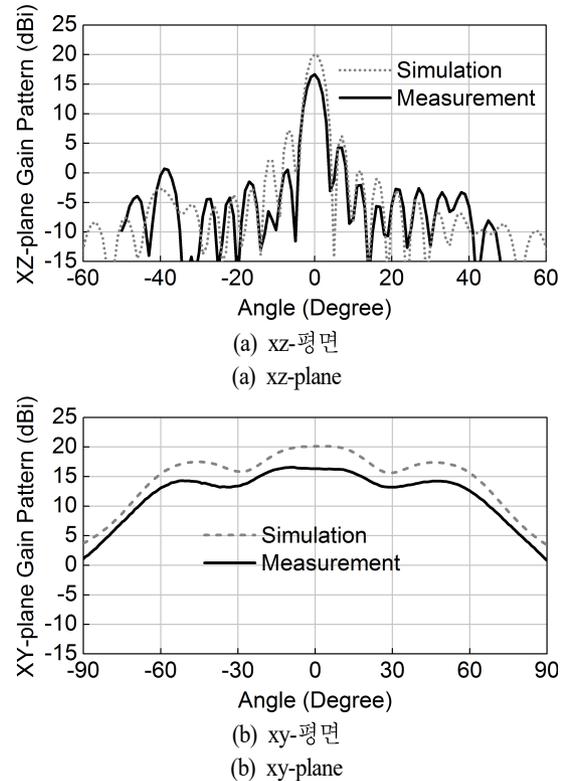


그림 6. 제작된 안테나의 이득 패턴(RO5880 PCB)
Fig. 6. Gain patterns of the fabricated antenna.

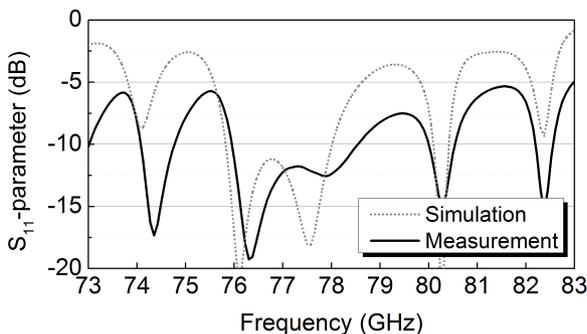


그림 5. 제작된 안테나의 S-파라미터 측정 및 시뮬레이션 결과(RO5880 PCB)
Fig. 5. The simulated and measured S-parameters.

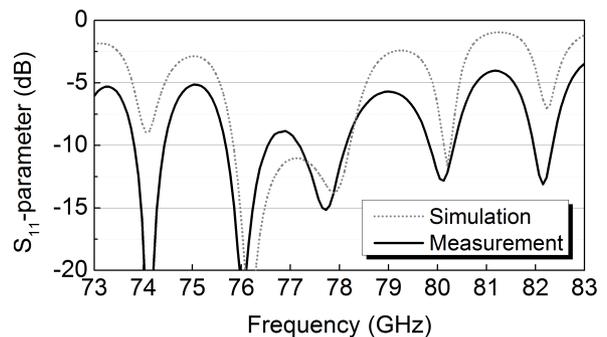


그림 7. 제작된 안테나의 S-파라미터 시뮬레이션 및 측정 결과(FR-4 PCB)
Fig. 7. The simulated and measured S-parameters.

표 2. 제작된 슬롯 배열 안테나 사이즈 및 측정 결과 (FR-4 PCB)

Table 2. Dimension of slot array antenna with and their measurement results.

| | | | | | |
|---------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | D_x | D_y | S_n | S_w | L_y |
| Dimension(mm) | 0.19 | 1.51 | 0.45 | 1.15 | 3.03 |
| Dielectric | Measured peak realized gain | | | | |
| Sim. | 19.4 dBi @ 77 GHz | | | | |
| Meas. | 17.1 dBi @ 77 GHz | | | | |

즈와 77 GHz에서 최대이득 측정결과(measured peak realized gain)를 표 2에 제시하였다. 이득 측정은 연구실 환경에서 W-밴드 표준 이득 혼 안테나와 positioner를 이용하여 진행하였다. 시뮬레이션 대비 2.3 dB 낮아졌지만, 77 GHz에서 17.1 dBi의 높은 최대이득 측정값을 얻을 수 있었다.

III. 결 론

본 논문에서는 77 GHz 도파관 슬롯 배열 안테나 제작 방식을 제안하였다. 차량 레이다 응용을 위해 77 GHz 대역 1×16 슬롯 배열 안테나를 설계한 후, 저가인 동시에 대량 생산에 유리한 PCB와 ACF 공정을 이용하여 제작하였다. RO5880과 FR-4 기판을 이용하여 제작된 안테나의 77 GHz 최대 이득 측정 값을 시뮬레이션 계산 값과 비교하였다. 그 결과, 이상적으로 접합된 조건의 시뮬레이션 결과 대비 2.3~3.5 dB 차이를 보였으며, 16.6~17.1 dBi의 최대 이득 값을 확인할 수 있었다. 상부 기판의 유전층이 안테나 특성에 미치는 영향이 크지 않음을 실험적으로 검증하였으며, 이득 감소에 대한 원인 분석 및 개선을 통해 저가의 차량용 레이다 개발에 응용될 수 있을 것이다.

References

- [1] D. J. Kim, M. Zhang, J. Hirokawa, and M. Ando, "Design and fabrication of a dual-polarization waveguide slot array antenna with high isolation and high antenna efficiency for the 60 GHz band," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 6, pp. 3019-3027, Jun. 2014.
- [2] D. Y. Kim, Y. Lim, H. S. Yoon, and S. Nam, "High-efficiency W-band electroforming slot array antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 4, pp. 1854-1857, Apr. 2015.
- [3] W. Ryu, M. J. Yim, S. Ahn, J. Lee, W. Kim, and K. W. Paik, et al., "High-frequency SPICE model of anisotropic conductive film flip-chip interconnections based on a genetic algorithm," *Transactions on Components and Packaging Technologies*, vol. 23, no. 3, pp. 542-545, Sep. 2000.
- [4] M. J. Kim, W. Ryu, Y. D. Jeon, J. Lee, S. Ahn, and J. Kim, et al., "Microwave model of anisotropic conductive film flip-chip interconnections for high frequency applications," *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, vol. 22, no. 4, pp. 575-581, Dec. 1999.
- [5] M. J. Kim, I. H. Jeong, H. K. Choi, J. S. Hwang, J. Y. Ahn, and W. Kwon, et al., "Flip-chip interconnection with anisotropic conductive adhesive for RF and high-frequency applications," *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, vol. 28, no. 4, pp. 789-796, Dec. 2005.

윤 평 화 [성균관대학교/석사과정]



2016년 2월: 성균관대학교 물리학과 (이학사)
2017년 3월~현재: 성균관대학교 전자전기 컴퓨터공학과 석사과정
[주 관심분야] 레이더 시스템, 신호처리

송 림 [성균관대학교/연구원]



1997년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
1999년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
2006년 8월: 미국 USC 전자공학과 (공학박사)
2013년 5월~현재: 성균관대학교 정보통신

연구소 연구원
[주 관심분야] 밀리미터파 회로, 안테나 및 시스템

권 오 윤 [성균관대학교/박사과정]



2011년 2월: 광운대학교 전자재료공학과 (공학사)
2013년 2월: 광운대학교 전자재료공학과 (공학석사)
2014년 9월~현재: 성균관대학교 전자전기 컴퓨터공학과 박사과정
[주 관심분야] 밀리미터파 회로, 안테나

및 시스템

김 병 성 [성균관대학교/교수]



1989년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1991년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1997년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
1997년 3월~현재: 성균관대학교 정보통신

대학 교수
[주 관심분야] RFIC 설계, RF 소자모델링