

복합소재를 사용한 직선모터용 이송테이블의 설계

Design of linear motor moving table using composite materials

*황영국¹, 이춘만², #은인웅³, 안승범⁴

*Y. K. Hwang¹, C. M. Lee², #I. U. Eun³(ieun@kinst.ac.kr), S. B. An⁴

¹ 창원대학교 기계설계공학과 대학원, ² 창원대학교 기계설계공학과, ³ 경기공업대학 금형설계과, ⁴ (주)테크

Key words : Linear motor, Composite material, Stacking sequency

1. 서론

오늘날 리니어모터 시스템은 리니어모터가 가지는 고속성, 고정밀성, 비접촉성, 정숙성 등의 장점으로 인해 반도체 장비, 수송 기기, 자동화 기기, 공작기계 등 직선 운동 기구가 필요한 대부분의 산업 분야에서 사용되고 있다. 리니어모터가 가지는 이러한 특성을 효과적으로 활용하기 위해서는, 리니어모터 자체의 성능향상과 함께 이동부의 경량화설계, 가동자와 고정자 사이에 작용하는 자기흡인력에 따른 굽힘 변형을 최소화하는 기술, 모터의 발열에 따른 효과적인 냉각기술, 공기간극과 영구자석에 이물질의 침입을 막는 방진대책 등 복합적인 기술이 필요하다.

리니어모터 시스템에서 이송테이블은 고정자와 이동자 사이에서 발생하는 큰 자기 흡인력을 지지할 수 있는 강성을 가지면서 가-감속 특성의 향상을 위해 경량일수록 유리하다. 또한 관성 크로스 토크 현상의 억제에 위해 질량중심과 구동점 사이의 거리가 가까운 저중심 설계에 유리한 구조를 가져야한다. 이러한 요구들로 인해 최근에는 구조 재료적 장점을 가진 복합재료를 구조 경량화를 위한 부품에 많이 적용하고 있고, 관련 연구가 활발히 이루어지고 있다.

복합재료는 두 종류 이상의 소재를 조합하여 물리적, 화학적으로 원래의 원소와 상이한 상을 형성하여 원래의 소재보다도 우수한 기능, 특성을 발휘하도록 설계된 재료로 기존의 금속재료에 비해 높은 비강도와 비강성을 갖고 진동감쇠특성과 피로특성 등이 우수하며 이들 특성을 섬유방향과 적층순서를 조절함으로써 사용자의 요구조건에 적합한 구조요소를 제작할 수 있다는 장점 때문에 구조의 경량화를 추구하는 제품에 많이 적용되고 있다. 복합재 구조물의 설계는 주어진 하중조건, 환경적 조건 등에 대해서 사용자의 요구조건을 만족하는 층수와 적층각을 결정하고 그 다음으로 적층순서를 결정한다. 원하는 강성, 강도 및 구조 안정성 조건을 모두 만족하는 최적의 적층순서는 존재하지 않는다. 따라서 설계의 요구조건에 따른 최적의 층수, 적층각, 적층순서를 결정하기 위해서는 각 설계 조건에 합당한 설계규칙을 따르고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 특성을 사전에 확인하는 것이 중요하다.

본 연구는 개발된 리니어모터 시스템에서 기존의 스틸소재 이송테이블을 복합소재 이송테이블로 바꾸고자 한다. 이를 위해 리니어모터용 이송테이블의 복합소재 적용에 대한 예비설계 단계로 타당성을 검토하고, 복합적층판의 설계를 위해 층수와 적층각의 변화에 따른 변위와 응력을 분석하였다.

2. 리니어모터 이송테이블용 복합적층판의 설계

본 연구는 Fig. 1과 같은 리니어모터 시스템에서 기존의 스틸계 이송테이블을 대신하여 복합소재 이송테이블을 적용해 보고자 한다.

직선모터용 이송테이블에 복합소재를 적용하기 위해 고려해야 하는 설계조건으로는 가동자와 고정자 사이에 작용하는 자기 흡인력에 따른 굽힘 변형을 최소화 할 수 있는 강성문제, Primary part, LM 블록 등의 기계적 결합을 위한 가공문제와 노치부의 응력집중에 의한 강도문제, 이물질 침입을 막는 방진대책, 열적 안정성 문제 등 여러 가지가 있다.

CFRP와 같은 섬유/수지 복합소재의 경우 표면에 미세한 입자들이 발생할 수 있고, 흡습성, 열충격, 광선에 의한 열화, 외부 하중에 의한 충격 손상 등에 약하다. 따라서 리니어모터 시스템에

바로 적용할 경우 이물질 혼입 위험 및 외부 하중에 의한 충격 손상 등의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 수지를 기지재로 사용한 복합소재를 리니어모터용 이송테이블에 바로 적용하기에는 문제가 있을 것으로 판단된다.



Fig. 1 Product of linear motor system

본 연구에서는 상기와 같은 문제점을 보완하여 리니어모터에 적용하기 위해 Fig. 2와 유사한 형식의 두 종류 이상의 강화재를 이용한 하이브리드형식의 복합재료를 고려해 보고자 한다.

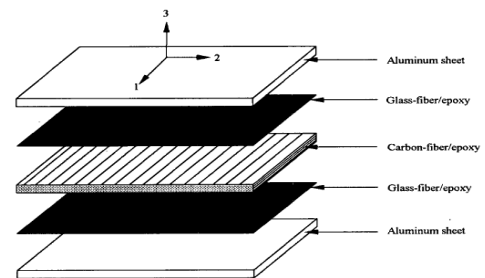


Fig. 2 Schematic illustration of hybrid laminates

3. 유한요소해석

유한요소해석을 이용하여 복합적층판의 설계에 대한 검토를 위해 층수와 적층각의 변화에 대한 이송테이블의 변위와 응력을 분석하였다. 이때 복합적층판의 형태는 미세한 입자들에 의한 방진문제, 충격손상 등의 문제를 해결하기 위해 3mm두께의 SUS 판재를 CFRP의 상면과 하면에 붙인 하이브리드형식의 복합소재에 대해 고찰하였다.

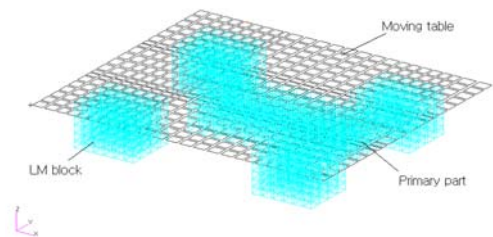


Fig. 3 FE-model of the moving table

해석을 위해 Fig. 3과 같이 이송테이블, Primary part, LM 블록부분만으로 해석모델을 구성하여 모델링 하였다. 경계조건으로는 LM 블록 부분을 완전 구속시켰으며 Primary part 부분에 39,200N₁

의 자기 흡인력을 적용하였다. Table 1, 2는 해석 모델에 사용된 물성치를 나타내고 있다.

Table 1 Mechanical properties of SUS 304

Ply thickness [mm]	3
Young's modulus [GPa]	200
Poisson's ratio	0.29
Shear modulus [GPa]	86
Density [kg/mm ³]	2,869

Table 2 Mechanical properties of USN 175BX and URN 300B

	USN 175BX	URN 300B
Ply thickness [mm]	0.17	0.25
Young's modulus [GPa]	E ₁₁	131
	E ₂₂	8.2
Poisson's ratio	0.28	0.28
Shear modulus [GPa]	G ₁₂	4.5
	G ₁₃	4.5
	G ₂₃	3.5
Density [kg/mm ³]	1,580	1,580

일반적으로 복합재 구조물의 설계 시 적층각과 두께 등은 연속적인 설계변수로 취급되어 왔다. 그러나 실제 복합재 구조물의 설계나 제작시 사용되는 적층각은 0°, 90°, ±30°, ±45° ±60° 등과 같이 이산화된 적층각으로 제한되어 있고 두께 역시 각 재료에 따라 정해져 있기 때문에 이러한 연속적인 설계변수에 근거한 설계는 실제에 적용하기 어려울 경우가 많다. 따라서 실제적인 설계를 위해서는 이산화된 설계변수를 이용하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 복합적층판의 예비설계에 대한 검토를 위해 이용하는 적층각을 0°, 90° 및 ±45°로 두고 고찰해 보았다. Table 3은 해석조건을 나타내고 있다.

Table 3 Analysis conditions

	Stacking sequency	Total thickness [mm]
Case 1	[0 -45 90 45] _{13s}	28.8
Case 2	[0 -45 90 45] _{10s}	22.8
Case 3	[45 -45 45 -45] _{10s}	22.8

Fig. 4, 5는 case 1의 경우에 대한 이송테이블 전체의 변형형상 및 응력분포를 나타내고 있다.

해석결과 case 1의 경우 최대 변위는 0.053mm로 나타났으며, Maximum von Mises stress은 12.8MPa로 나타났다. 수직상으로는 강도와 강성측면에서 허용할 만한 값으로 평가되므로 전체적으로 구조상 안전하다고 판단된다. 하지만 변형형상을 살펴보면 x방향에 대해 변형량의 차이가 발생하므로 바람직하지 않다. 이는 구조상 가동자와 고정자 사이의 자기흡인력이 작용하는 부위가 정확히 LM 블록을 사이로 대칭이지만 이송테이블의 정 중앙에 위치하지는 않기 때문이다. 즉 등방성소재일 경우 하중 지지점에 대해 하중 작용부위가 정확히 대칭이므로 길이방향에 대한 변형량의 차이가 존재하지 않으나, 복합소재의 경우 이방성이므로 하중 작용부위가 정 중앙에 존재하지 않을 경우 하중 지지점에 대해서는 대칭이라도 변형량에 차이가 나타났다. 이는 공극의 간격에 차이를 발생시켜 리니어모터 성능에 악영향을 줄 수 있다. 따라서 복합소재를 사용하여 이송테이블을 제작할 경우 이에 대한 영향을 고려해야 할 것으로 판단된다.

Table 4는 세 가지 경우에 대한 해석결과를 나타내고 있다. 해석결과 동일한 층수에 대해 case 2의 적층각이 case 3의 적층각보다 좋은 것으로 나타났다.

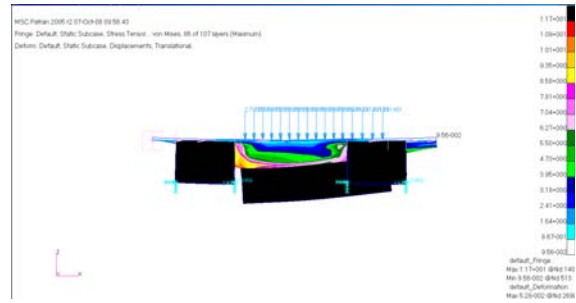


Fig. 4 Deformation results by FEM

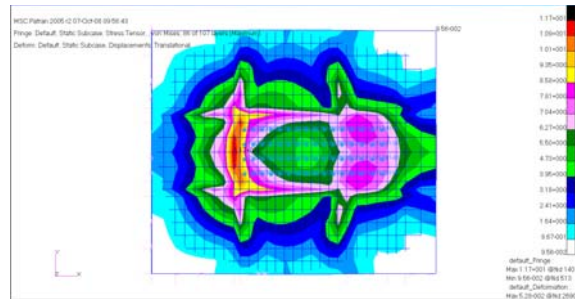


Fig. 5 Stress results by FEM

Table 4 Results of FEM

	Case 1	Case 2	Case 3
Maximum displacement [mm]	0.053	0.074	0.083
Von Mises stress [MPa]	12.8	17.0	20.4

4. 결론

리니어모터 시스템에서 기존의 스틸소재 이송테이블을 복합소재 이송테이블로 바꾸기 위한 예비설계 단계로 복합소재 적용을 위해 고려해야 할 사항을 검토하고, 복합적층판의 설계를 위해 유한요소해석을 통해 층수와 적층각의 변화에 따른 변위와 응력을 분석하였다.

1. 리니어모터 시스템의 이송테이블을 복합소재로 적용할 경우 방진, 충격 하중에 대한 고려 등으로 하이브리드 복합소재가 적합할 것으로 판단된다.

2. 복합소재를 사용하여 이송테이블을 제작할 경우 소재 자체의 이방성으로 인해 변형이 불균형적으로 발생한다. 설계 시 이에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

향후 복합소재를 리니어모터의 이송테이블에 적용하기 위해서는 열적문제, 기계적 결합을 위한 가공문제 등을 포함한 좀더 세밀한 조건에서의 추가적인 검토가 필요하다.

후기

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- J. S. Kim, "Stacking sequence optimization of composite laminates for railways using expert system," Korean Society for Railway, Vol. 8, No. 5, pp. 411-418, 2005.
- J. H. Lee, Y. H. Kim, "Pre-treatment condition and curing method for fabrication of Al 7075/CFRP Laminates," Journal of the KSCM, Vol. 13, No. 2, pp. 42-53, 2000.
- Y. K. Hwang, C. M. Lee, I. U. Eun, "Performance improvement of a linear motors by structure optimization [1st paper]," Journal of the KSPE, Vol. 25, No. 5, pp. 7-14, 2008.