

전기자기학 I

(강의자료 #1)

교과목명 : 전기자기학

담당교수 : 이수형

E-mail : soohyong@uu.ac.kr

교재명 : 2023 전기기능사 필기, 통일출판사



수업계획서

교과목명	전기자기학	교과목번호	K3019B
담당교수	이 수형	수강 대상	공학계열 2학년
학점 (시수)	3(3)	이수 구분	전공
수업시간, 수업 장소	화3, 금3,4 (A413)	교수연구실	A405
e-mail	soohyong@uu.ac.kr	상담 가능 시간	상시
연락처	연구실: 054-760-1664	cell phone: 010-2521-3227	

교과목 설명

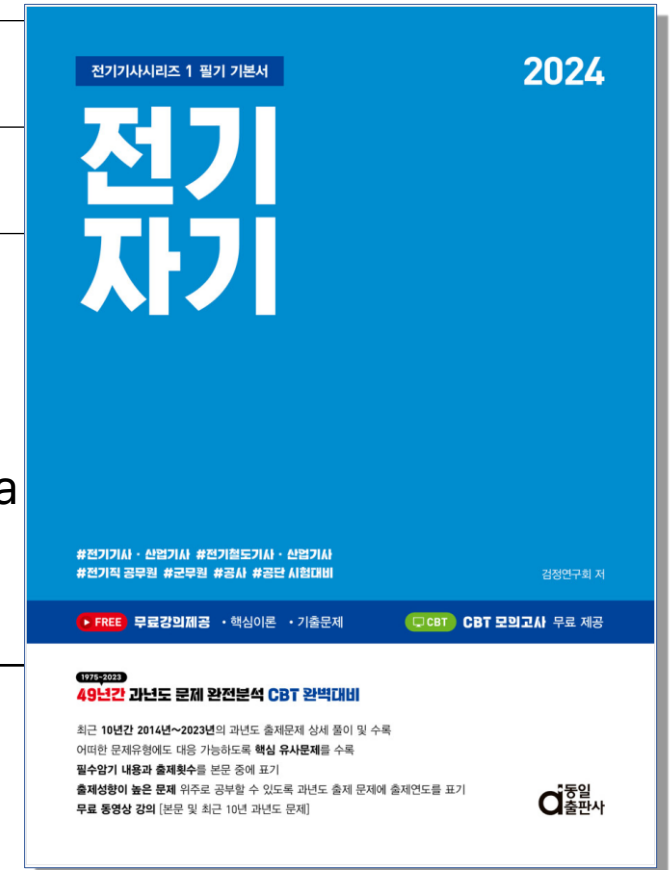
개요	전기 및 제어, 원전시스템공학을 전공하는데 중요한 기초과목이므로 전자기 현상에 관한 기초지식과 함께 법칙의 개념파악에 중점을 둔다. 전자장은 다시 전기장과 자기장으로 나누어지는데 전기자기학1에서는 주로 전기장을 다루며 그 내용으로는 벡터해석, 쿨롱의 법칙 및 전기장의 세기, 전속밀도와 가우스의 법칙, 전기장의 에너지 및 전위 등을 차례로 다룬다.
학습 목표	1) 전기자기학에 관련된 현상 및 기본적인 개념을 익힌다. 2) 전기장이 발생하는 원인 및 전하의 분포에 따른 전기장의 해석 방법을 배운다. 3) 전기장의 세기 및 전속밀도의 개념을 익히고 계산방법을 배운다. 4) 전기 에너지와 전위의 개념 및 계산방법을 익힌다.

교과목 설명

교수·학습 방법	수업 유형	☒ 대면수업 ☐ 원격수업 ☐ 블렌디드 수업 ☐ 팀티칭 ☐ 기타()		
	학생 주도형 수업운영	☒ 문제기반학습(PBL) ☐ 세미나 ☐ 프로젝트기반학습(PBL) ☐ 캡스톤디자인 ☐ 기타() ☐ 사례기반학습(CBL) ☐ 발표, 프레젠테이션 ☐ 팀기반학습(TBL) ☐ 지역연계 서비스러닝 ☐ 토론 ☐ 토의 ☐ 플립러닝(FL)		
	현장 연계 방법	☐ 현장전문가초청 ☐ 현장탐방 ☐ 교육자문 ☒ 기타 (시청각 교육자료 활용)		
	☒ 대면학습: 원칙적으로 대면수업의 형태로 실시 ☒ 문제기반학습(PBL): 전기자기학에서 다루는 여러 가지 문제에 대해서 필요한 공학적인 모델과 식을 유도하며, 이를 수학적인 지식을 이용하여 계산하는 과정으로 학생들이 스스로 문제를 해결할 수 있도록 함 ☒ 현장연계: 현장연계를 위하여 과거에는 현장탐방을 주로 진행하였으나 전기 및 자기현상을 이해하고 이를 응용한 전기기기들에 대해서는 현장탐방보다는 시청각 교육자료를 활용하는 것이 최근 선호되고 있음. 특히 최근 시청각 교육자료의 발달에 따라 학생들이 직접 모바일로 접근이 가능한 시청각 교육자료를 주로 활용함.			

교과목 설명

관련 진로 분야	발전산업, 전기공사산업, 전기설계.감리산업, 전기안전관리산업, 전기기기산업, 전기자동제어산업		
권장 선수과목	대학수학 I	권장 후수과목	전기기기, 전력계통
연계 비교과			
융복합 교육			
교재 및 참고문헌	- 주교재: 2024 전기자기 (전기기사시리즈), 검정연구회, 동일출판사 - 참고: 전자기학 9판, William H. Hayt외 1인 원저, McGraw-Hill Korea Schaum's Outline Series ELECTROMAGNETICS 전기기사 기출문제집		



평가 방법

	구분	비율	평가 방법 및 내용	평가 루브릭
1	출석	20%	- 결석 1시간당 0.5점 감점, 지각 3회 시 결석 1시간으로 처리 - 출석 인정: 응급실 또는 수술, 전염성 질병으로 인한 입원, 공식 협조문, 신체 검사, 직계가족 사망 등으로 인한 결석시 증빙서류 제출시 인정 - 출석 미달: 출석이 총수업 시간 수의 2/3에 미달하는 경우 실격(F) 처리	□
2	중간고사	35%	지필평가, 1~4주차의 전반적인 수업내용	□
3	기말고사	35%	지필평가, 5~10주차의 전반적인 수업내용	
4	과제(1)	10%	포트폴리오(보고서): 레포트(5%)	■
	전체	100%		

핵심역량 및 전공역량

핵심 역량	융합사고역량		문제해결역량		자기관리역량		도전성취역량		대인관계역량		협업실천역량	
하위 역량	창의력	유연성	분석력	의사 결정	자기 인식	자기 조절	목표 지향성	실행 능력	공감 능력	조정 능력	협동 능력	실천 능력
관련성			○	○								

핵심역량 및 전공역량

전공 역량	전공역량 정의	하위역량	하위역량 정의	관련성
전기 해석 역량	전기/분야 해석 및 문제해결 역량	수리해석 역량	전기분야의 회로 및 장치의 해석을 하기 위한 수학적인 능력	○
		공학해석 역량	전기분야의 기본적인 현상을 이해하고 회로 및 장치를 해석하기 위하여 공학적인 모델을 설정하고 해석하는 능력	
실기 역량	전기/전력 분야의 회로 설계 및 실험 역량	설계 역량	회로 및 장치의 원리를 이해하고 원하는 기능을 가지는 회로 또는 장치를 설계할 수 있는 능력	
		실험 역량	설계된 회로 및 장치를 직접 구성하여 예상되는 동작을 확인하고 분석하며 검증할 수 있는 능력	
협업 역량	타인과의 협업을 통한 공동 문제해결 역량	의사소통 역량	다른 사람과의 의사를 소통하고 발표를 통해서 다른 사람에게 자신의 의견이나 주장을 전달할 수 있는 능력	
		협동 역량	과제 또는 문제 해결을 위하여 다른 사람과의 협동을 통해서 해결하는 능력	

주차별 일정 및 계획

	수업 주제	수업 내용	교수·학습 방법	
			수업 방법/매체	과제 (제출, 평가, 환류)
1주	벡터 1	- 스칼라 및 벡터, 단위벡터와 기본벡터 - 벡터의 성분 표기	강의, PPT 활용	
2주	벡터 2	- 벡터의 연산, 벡터의 내적과 외적 - 벡터의 미분, 기울기, 발산	강의, PPT 활용	
3주	진공중의 정전계 I	- 전화, 도체, 부도체 - 쿨롱의 법칙	강의, PPT 활용	
4주	진공중의 정전계 II	- 전계와 전기력선, 전위/전위경도 - 가우스 정리	강의, PPT 활용	기사자격증 기출문제
5주	진공중의 정전계 III	- 전하에 따른 전계의 세기와 전위 - 정전응력, 전기쌍극자	강의, PPT 활용	
6주	진공중의 도체계 I	전위계수, 용량계수, 유도계수	강의, PPT 활용	
7주	진공중의 도체계 II	- 형태에 따른 정전용량 - 정전에너지, 에너지밀도	강의, PPT 활용	기사자격증 기출문제

주차별 일정 및 계획

	수업 주제	수업 내용	교수·학습 방법	
			수업 방법/매체	과제 (제출, 평가, 환류)
8주	중간고사	• 중간고사		
9주	유전체 I	• 유전체, 분극, 패러데이관 • 전속, 전속밀도	강의, PPT 활용	
10주	유전체 II	• 유전체 중의 쿨롱의 법칙 • 경계조건	강의, PPT 활용	
11주	유전체 III	• 복합 유전체의 정전용량 • 유전체 중의 에너지 밀도	강의, PPT 활용	
12주	전계의 특수 해법	• 전기영상법 • 등각사상법	강의, PPT 활용	기사자격증 기출문제
13주	전류 I	• 전류밀도, 도전율 • 전기저항	강의, PPT 활용	
14주	전류 II	• 전력, 줄의 법칙 • 열전현상	강의, PPT 활용	
15주	기말고사	• 기말고사		

01. 벡터

(Vector)

1. 스칼라와 벡터

- 자연계의 물리량을 표현하는 방법 : 스칼라(scalar), 벡터(vector)
- 스칼라(scalar)
 - 크기만으로 결정되는 양(길이, 온도, 체적, 질량, 일, 에너지, 전위, 전력 등)
 - 이태릭체 문자 또는 선분기호로 표현 : $A, a, \overline{A}, \overline{OP}$
- 벡터(vector)
 - 크기와 방향으로 결정되는 양(변위, 힘, 속도, 가속도, 전계, 자계 등)
 - 굵은 문자 또는 화살표로 표현 : $\mathbf{A}, \mathbf{a}, \vec{A}, \overrightarrow{OP}$

2. 단위벡터와 기본벡터

- 단위벡터(unit vector)

- 크기가 1이고 방향만 가지는 벡터 $\mathbf{a}$

$$\mathbf{A} = A\mathbf{a}$$

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{A}}{|\mathbf{A}|} = \frac{\mathbf{A}}{A}$$

- 기본벡터

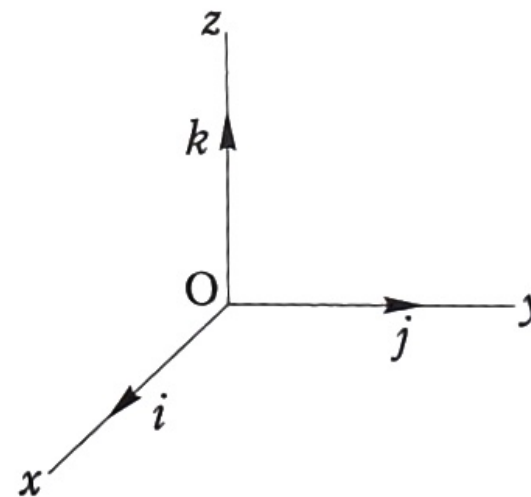
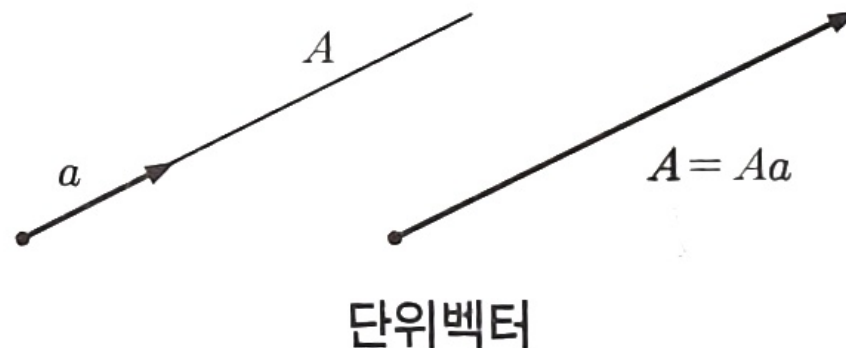
- 좌표계에서 x, y, z 각 축의 단위벡터

- $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 또는 $(\mathbf{a}_x, \mathbf{a}_y, \mathbf{a}_z)$

- ❖ $\mathbf{i} = \mathbf{a}_x$: x 축 방향의 단위벡터

- ❖ $\mathbf{j} = \mathbf{a}_y$: y 축 방향의 단위벡터

- ❖ $\mathbf{k} = \mathbf{a}_z$: z 축 방향의 단위벡터



3. 벡터의 성분

- 직교 좌표계

- x, y 평면상의 한 점 $A(A_x, A_y)$ 를 종점으로 하는 위치벡터

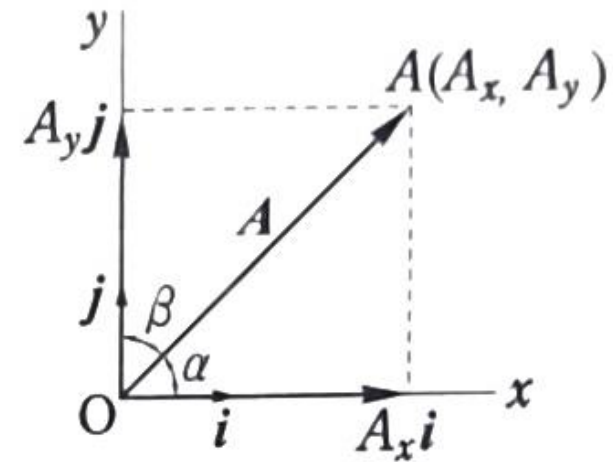
$$\mathbf{A} = A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j}$$

- 크기 : $A = |\mathbf{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$

- 벡터 여현 : $\begin{cases} \cos \alpha = \frac{A_x}{A} \\ \cos \beta = \frac{A_y}{A} \end{cases}$

- 단위벡터 : $\mathbf{a}$

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \frac{\mathbf{A}}{A} = \frac{\mathbf{A}}{|\mathbf{A}|} = \frac{A_x}{A} \mathbf{i} + \frac{A_y}{A} \mathbf{j} \\ &= \frac{A_x}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}} \mathbf{i} + \frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}} \mathbf{j} \\ &= \cos \alpha \mathbf{i} + \cos \beta \mathbf{j} \quad (\because \cos^2 \alpha + \cos^2 \beta = 1) \end{aligned}$$



3. 벡터의 성분

- 직각 좌표계

➤ x, y, z 축에 대한 벡터 $\mathbf{A}$ 의 각 축방향 성분 (A_x, A_y, A_z)일때

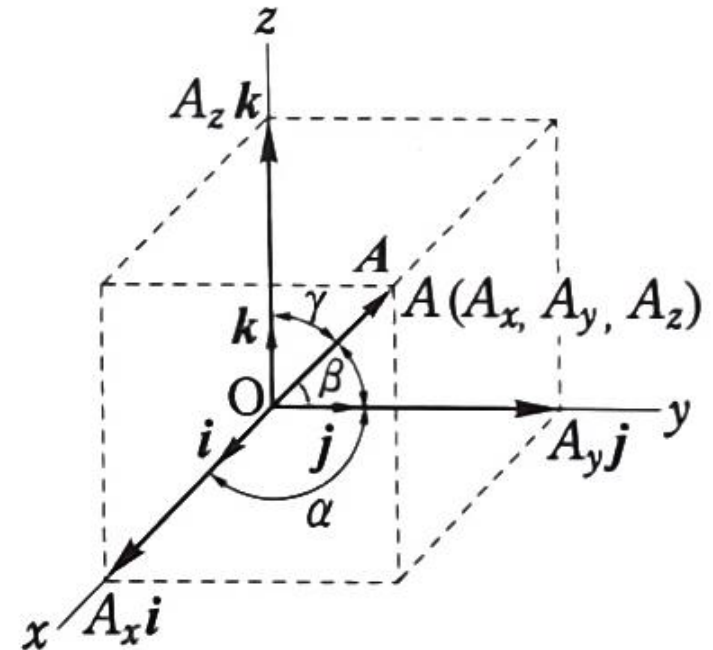
$$\mathbf{A} = A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}$$

➤ 크기 : $A = |\mathbf{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$

➤ 벡터 여현 :
$$\begin{cases} \cos \alpha = \frac{A_x}{A} \\ \cos \beta = \frac{A_y}{A} \\ \cos \gamma = \frac{A_z}{A} \end{cases}$$

➤ 단위벡터 : $\mathbf{a}$

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{A}}{A} = \frac{\mathbf{A}}{|\mathbf{A}|} = \frac{A_x}{A} \mathbf{i} + \frac{A_y}{A} \mathbf{j} + \frac{A_z}{A} \mathbf{k}$$

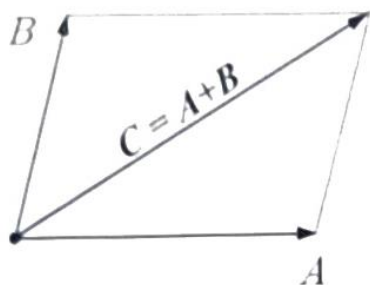


4. 벡터의 연산 (합, 차, 스칼라곱)

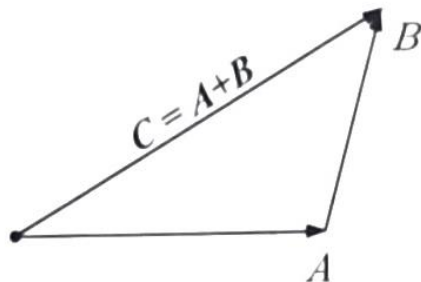
- 벡터의 가감

➤ 같은 방향 성분의 합과 차로 계산

$$\mathbf{A} \pm \mathbf{B} = (A_x \pm B_x)\mathbf{i} + (A_y \pm B_y)\mathbf{j} + (A_z \pm B_z)\mathbf{k}$$

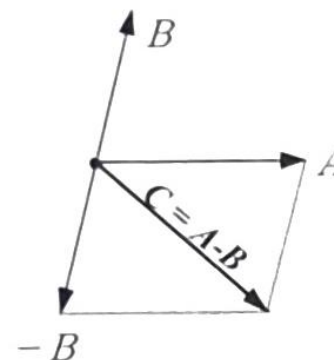


(a) 평행사변형법

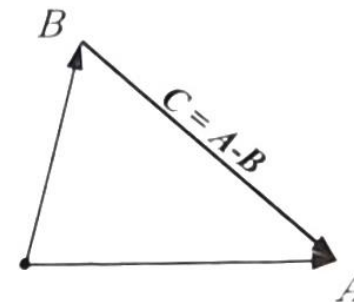


(b) 삼각형법

벡터의 합



(a) 평행사변형법



(b) 삼각형법

벡터의 차

- 스칼라와 벡터의 곱

$$\mathbf{F} = Q\mathbf{E} = Q(E_x\mathbf{i} + E_y\mathbf{j} + E_z\mathbf{k}) = QE_x\mathbf{i} + QE_y\mathbf{j} + QE_z\mathbf{k}$$

4. 벡터의 연산 (내적)

- 벡터의 내적 (스칼라곱) : inner product, scalar product, dot product

➤ 정의 : $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = |\mathbf{A}||\mathbf{B}| \cos \theta$

➤ 계산방법

$$\begin{aligned}\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} &= (A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}) \cdot (B_x \mathbf{i} + B_y \mathbf{j} + B_z \mathbf{k}) \\ &= A_x \mathbf{i} \cdot (B_x \mathbf{i} + B_y \mathbf{j} + B_z \mathbf{k}) + A_y \mathbf{j} \cdot (B_x \mathbf{i} + B_y \mathbf{j} + B_z \mathbf{k}) + A_z \mathbf{k} \cdot (B_x \mathbf{i} + B_y \mathbf{j} + B_z \mathbf{k}) \\ &= A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z\end{aligned}$$

➤ 성질

❖ $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A}$: 교환법칙

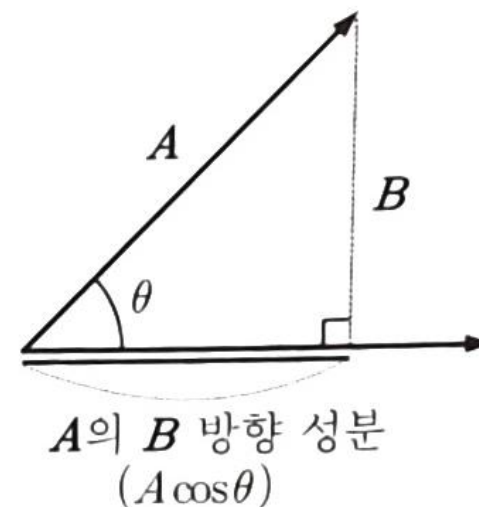
❖ $(\mathbf{A} + \mathbf{B}) \cdot \mathbf{C} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{C} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{C}$: 분배법칙

❖ $A \parallel B (\theta = 0^\circ) : \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = |\mathbf{A}||\mathbf{B}| \cos 0^\circ = AB$

❖ $A \perp B (\theta = 90^\circ) : \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = |\mathbf{A}||\mathbf{B}| \cos 90^\circ = 0$

❖ $\mathbf{i} \cdot \mathbf{i} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{j} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{k} = 1 \because \mathbf{i} \cdot \mathbf{i} = |\mathbf{i}||\mathbf{i}| \cos 0^\circ = 1 \times 1 \times 1 = 1$

❖ $\mathbf{i} \cdot \mathbf{j} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{k} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{i} = 0 \because \mathbf{i} \cdot \mathbf{j} = |\mathbf{i}||\mathbf{j}| \cos 90^\circ = 1 \times 1 \times 0 = 0$



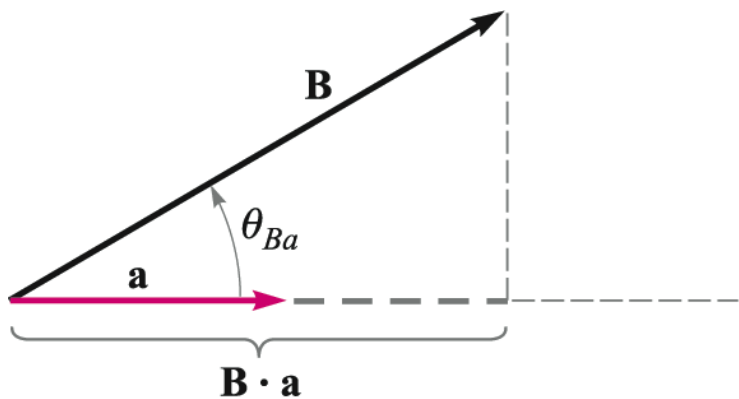
4. 벡터의 연산 (내적)

- 벡터의 내적 (스칼라곱) : inner product, scalar product, dot product

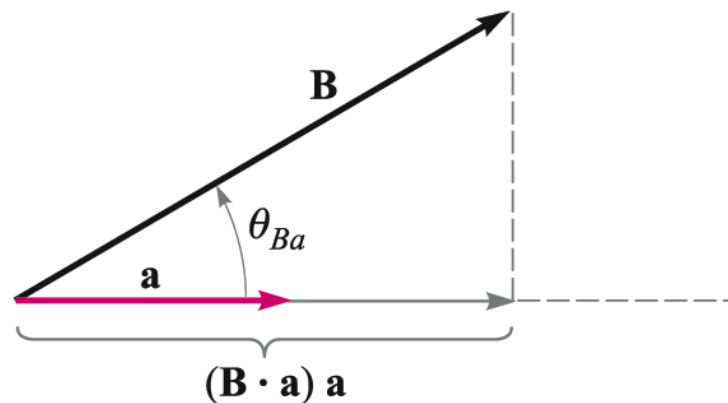
➤ 투영(projection)

(a) **B**의 **a**방향의 성분; $\mathbf{B} \cdot \mathbf{a} = |\mathbf{B}| |\mathbf{a}| \cos \theta_{Ba} = |\mathbf{B}| \cos \theta_{Ba}$

(b) **B**의 **a**방향의 성분벡터; $(\mathbf{B} \cdot \mathbf{a})\mathbf{a}$



$\mathbf{B} \cdot \mathbf{a}$ gives the component of **B** in the horizontal direction



$(\mathbf{B} \cdot \mathbf{a})\mathbf{a}$ gives the *vector* component of **B** in the horizontal direction

4. 벡터의 연산 (벡터곱)

- 벡터의 외적 (벡터곱) : outer product, vector product, cross product

➤ $|\mathbf{A} \times \mathbf{B}| = AB \sin \theta$

➤ 방향 : 면에 수직이며 오른나사 진행방식

➤ 성질

❖ $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = -\mathbf{B} \times \mathbf{A}$: 교환법칙 성립하지 않음

❖ $\mathbf{A} \times \mathbf{A} = 0$

❖ $(a\mathbf{A}) \times \mathbf{B} = \mathbf{A} \times (a\mathbf{B}) = a(\mathbf{A} \times \mathbf{B})$

❖ 평행조건 : $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = 0 \rightarrow \frac{A_x}{B_x} = \frac{A_y}{B_y} = \frac{A_z}{B_z}$

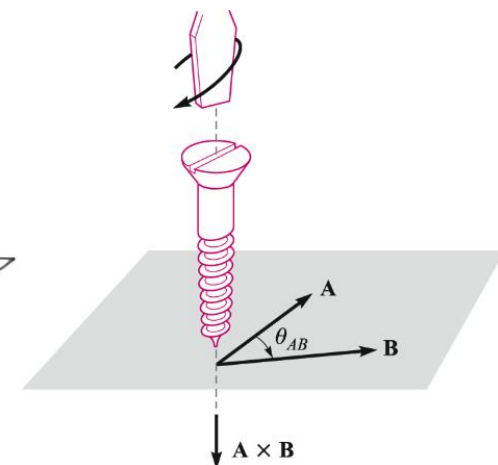
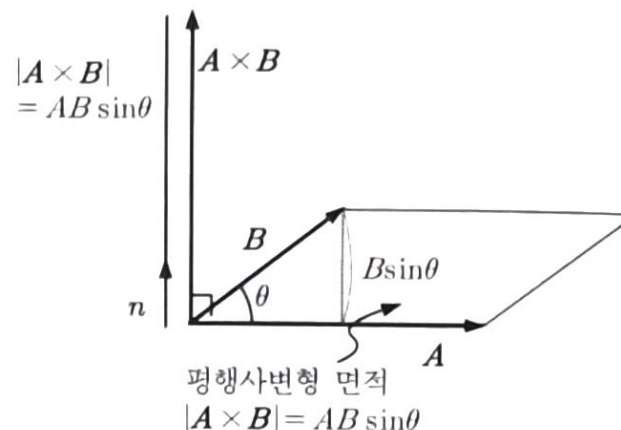
❖ $\mathbf{A} \parallel \mathbf{B} (\theta = 0^\circ) : |\mathbf{A} \times \mathbf{B}| = |\mathbf{A}||\mathbf{B}| \sin 0^\circ = 0$

❖ $\mathbf{A} \perp \mathbf{B} (\theta = 90^\circ) : |\mathbf{A} \times \mathbf{B}| = |\mathbf{A}||\mathbf{B}| \sin 90^\circ = AB$

❖ $\mathbf{i} \times \mathbf{i} = \mathbf{j} \times \mathbf{j} = \mathbf{k} \times \mathbf{k} = 0 \because \mathbf{i} \times \mathbf{i} = |\mathbf{i}||\mathbf{i}| \sin 0^\circ = 1 \times 1 \times 0 = 0$

❖ $\mathbf{i} \times \mathbf{j} = \mathbf{k}, \mathbf{j} \times \mathbf{k} = \mathbf{i}, \mathbf{k} \times \mathbf{i} = \mathbf{j} \because \mathbf{i} \times \mathbf{j} = |\mathbf{i}||\mathbf{j}| \sin 90^\circ \mathbf{k} = \mathbf{k}$

❖ $\mathbf{j} \times \mathbf{i} = -\mathbf{k}, \mathbf{k} \times \mathbf{j} = -\mathbf{i}, \mathbf{i} \times \mathbf{k} = -\mathbf{j}$



4. 벡터의 연산 (벡터곱)

- 벡터의 외적 (벡터곱) : outer product, vector product, cross product

➤ $|\mathbf{A} \times \mathbf{B}| = AB \sin \theta$

➤ 방향 : 면에 수직이며 오른나사 진행방식

➤ 계산방법

❖ $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = (A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}) \times (B_x \mathbf{i} + B_y \mathbf{j} + B_z \mathbf{k})$

$$= A_x B_x (\mathbf{i} \times \mathbf{i}) + A_x B_y (\mathbf{i} \times \mathbf{j}) + A_x B_z (\mathbf{i} \times \mathbf{k})$$

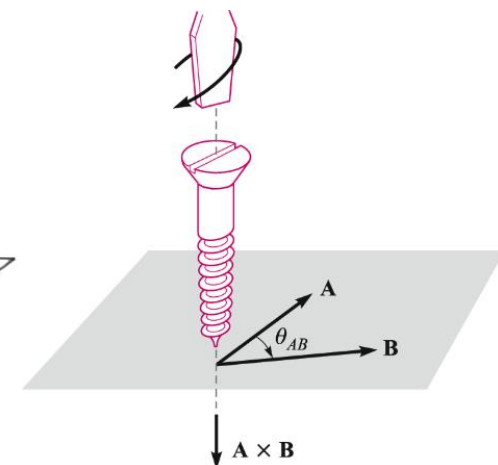
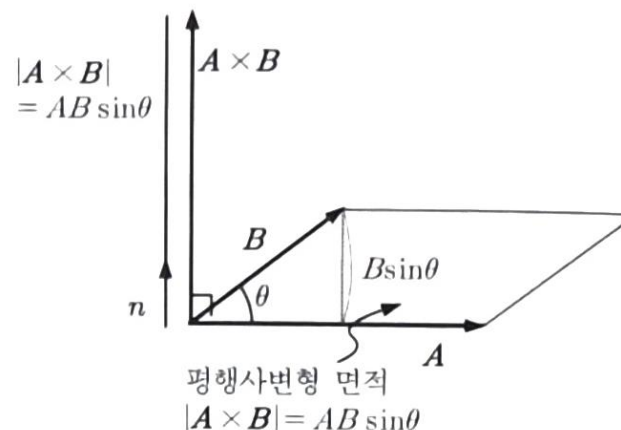
$$+ A_y B_x (\mathbf{j} \times \mathbf{i}) + A_y B_y (\mathbf{j} \times \mathbf{j}) + A_y B_z (\mathbf{j} \times \mathbf{k})$$

$$+ A_z B_x (\mathbf{k} \times \mathbf{i}) + A_z B_y (\mathbf{k} \times \mathbf{j}) + A_z B_z (\mathbf{k} \times \mathbf{k})$$

$$= 0 + A_x B_y \mathbf{k} + A_x B_z (-\mathbf{j}) + A_y B_x (-\mathbf{k}) + 0 + A_y B_z \mathbf{i} + A_z B_x \mathbf{j} + A_z B_y (-\mathbf{i}) + 0$$

$$= (A_y B_z - A_z B_y) \mathbf{i} + (A_z B_x - A_x B_z) \mathbf{j} + (A_x B_y - A_y B_x) \mathbf{k}$$

$$= \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$



5. 벡터의 미분

- 미분연산자 ∇ (∇ : 나블라(nabla) 또는 델(del))

➤ 각 축방향으로의 변화율과 방향 표시

$$\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial z} \mathbf{k} \right)$$

- 기울기 (gradient)

➤ 스칼라값 V 에 대해서 각 방향의 거리에 대한 변화율(기울기, 구배, 경도)를 나타냄 $\Rightarrow$ 벡터량

$$\text{grad } V = \nabla \cdot V$$

$$\nabla V = \left(\frac{\partial}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial z} \mathbf{k} \right) V = \frac{\partial V}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial V}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial V}{\partial z} \mathbf{k}$$

5. 벡터의 미분

- 벡터의 발산 (divergence)

- 벡터 방향으로 단위체적에서 발산하는 선속수 (밖으로 뺏어나가는 정도) $\Rightarrow$ 스칼라량

$$\text{div } \mathbf{E} = \nabla \cdot \mathbf{E}$$

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \left(\frac{\partial}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial z} \mathbf{k} \right) \cdot (E_x \mathbf{i} + E_y \mathbf{j} + E_z \mathbf{k}) \\ &= \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z}\end{aligned}$$

- 가우스 법칙 : $\text{div } \mathbf{D} = \rho$

- ❖ 전하가 존재하는 공간에서는 전속선이 발산(발생)한다.

- 자속의 비발선성 : $\text{div } \mathbf{B} = 0$

- ❖ 임의의 지점의 자속의 발산량은 0이다. (자속은 생성과 소멸이 없이 연속적이다.)

- 키르히호프의 전류법칙 : $\text{div } \mathbf{J} = 0$

- ❖ 한 점에서의 전류가 밖으로 나가는 양은 0이다. (들어오는 전류와 나가는 전류의 합은 동일하다.)

5. 벡터의 미분

- 벡터의 회전(rotation, curl)

- 한 점의 주위에 벡터가 회전하는 정도를 나타내는 물리량

$$\nabla \times \mathbf{H} = \text{rot } \mathbf{H} = \text{curl } \mathbf{H} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ H_x & H_y & H_z \end{vmatrix}$$

- 암페어의 주회법칙 : $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J}$

- ❖ 전류가 존재하면 주위에 회전하는 자계를 발생시킨다.

- ❖ 임의의 점에서 자계 H 의 회전량은 그 점에서의 전류밀도 J 와 같다.

- 정전계에서 전기장의 비 회전성 : $\nabla \times \mathbf{E} = 0$

- ❖ 정전계에서 전기장(전기력선)은 회전하지 않는다.

5. 벡터의 미분

- 라플라시안(Laplacian)

➤ 라플라시안 : ∇^2

$$\nabla \cdot \nabla = \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} = \text{div grad}$$

➤ 스칼라 함수 $V(x, y, z)$ 에 2중 미분연산 $\nabla \cdot \nabla$ 을 취하면

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \nabla V &= \left(\frac{\partial}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial z} \mathbf{k} \right) \cdot \left(\frac{\partial}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial z} \mathbf{k} \right) V \\ &= \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = \nabla^2 V\end{aligned}$$

➤ 푸아송 방정식 (Poisson's Equation)

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -\frac{\rho}{\epsilon}$$

➤ 라플라스 방정식 (Laplace's Equation)

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0$$

$$\text{div } \mathbf{D} = \rho, \mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$$

$$\Rightarrow \nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon}$$

$$\mathbf{E} = -\nabla V$$

$$\nabla^2 V = \nabla \cdot \nabla V = -\nabla \cdot \mathbf{E}$$