



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0106139
(43) 공개일자 2008년12월04일

(51) Int. Cl.

G06F 17/50 (2006.01) G06F 17/40 (2006.01)
G06F 17/13 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0051779

(22) 출원일자 2008년06월02일

심사청구일자 2008년06월02일

(30) 우선권주장

1020070053582 2007년05월31일 대한민국(KR)

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내

(72) 발명자

허훈

서울 종로구 부암동 208-24번지

조윤현

경기 용인시 기흥구 보정동 성호아파트 135동 202호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

현종철

전체 청구항 수 : 총 7 항

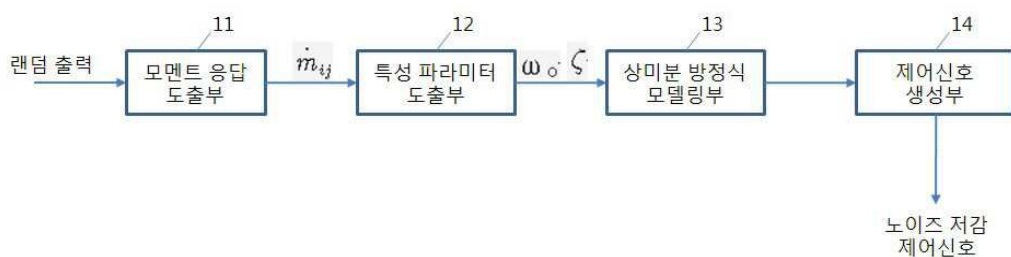
(54) 편미분 방정식으로 모델링되는 시스템의 노이즈 저감 장치및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 제어 대상 시스템의 시간 영역과 물리 영역에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 제어 대상 시스템의 노이즈를 저감시킬 수 있는 장치에 관한 것이다.

본 명세서에서 개시하는 제어 대상 시스템의 노이즈 저감 장치는 시간 영역과 물리 영역(이하 '실물리 영역')에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 제어 대상 시스템의 정상적인 랜덤 출력을 확률 영역에서 해석하여 상기 제어 대상 시스템의 확률 모멘트 응답을 도출하는 모멘트 응답 도출부; 상기 도출된 모멘트 응답을 역 변환하여 상기 제어 대상 시스템의 특성 파라미터를 도출하는 특성 파라미터 도출부; 및 상기 모멘트 응답과 상기 도출된 파라미터를 이용하여 상기 제어 대상 시스템을 확률 영역에서의 상미분 방정식으로 모델링하는 모델링부; 및 상기 확률 영역에서의 상미분 방정식을 실물리 영역에서의 상미분 방정식으로 변환하여 상기 제어 대상 시스템에 인가되는 교란에 의한 노이즈의 실물리 영역에서의 저감 제어신호를 생성하는 제어신호 생성부를 포함하여 본 발명이 해결하고자 하는 과제를 해결한다.

대 표 도 - 도1a



(72) 발명자

양인범

충남 천안시 신방동 한라동백2차아파트 104동 305호

이종복

서울 중구 신당1동 247-17번지

권동철

경기 안양시 동안구 평안동 초원한양아파트 607동 303호

박성만

서울 도봉구 도봉동 583번지

이동희

서울 은평구 녹번동 19-23호 보령빌라 401호

채교순

경북 영주시 풍기읍 서부3리 20-4번지

특허청구의 범위

청구항 1

시간 영역과 물리 영역(이하 '실물리 영역')에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 제어 대상 시스템의 정상적인 랜덤 출력을 확률 영역에서 해석하여 상기 제어 대상 시스템의 확률 모멘트 응답을 도출하는 모멘트 응답 도출부;

상기 도출된 모멘트 응답을 역 변환하여 상기 제어 대상 시스템의 특성 파라미터를 도출하는 특성 파라미터 도출부;

상기 모멘트 응답과 상기 도출된 파라미터를 이용하여 상기 제어 대상 시스템을 확률 영역에서의 상미분 방정식으로 모델링하는 모델링부; 및

상기 확률 영역에서의 상미분 방정식을 실물리 영역에서의 상미분 방정식으로 변환하여 상기 제어 대상 시스템에 인가되는 교란에 의한 노이즈의 실물리 영역에서의 저감 제어신호를 생성하는 제어신호 생성부를 포함하는 편미분 방정식으로 모델링되는 시스템의 노이즈 저감 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 확률 모멘트 응답 도출부는

F-P-K(Fokker-Planck-Kolmogorov) 방정식을 이용하여 상기 모멘트 응답을 도출하는 것을 특징으로 하는 편미분 방정식으로 모델링되는 시스템의 노이즈 저감 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 제어신호 생성부는

상기 확률 영역에서의 상미분 방정식을 몬테카를로 기법(Monte Carlo method)에 의해 상기 실물리 영역의 상미분 방정식으로 변환시켜 상기 저감 제어신호를 생성하는 것을 특징으로 하는 편미분 방정식으로 모델링되는 시스템의 노이즈 저감 장치.

청구항 4

(a)시간 영역과 물리 영역(이하 '실물리 영역')에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 제어 대상 시스템의 정상적인(stationary) 랜덤 출력을 확률 해석하여 상기 제어 대상 시스템의 확률 모멘트 응답을 도출하는 단계;

(b)상기 도출된 모멘트 응답을 역 변환하여 상기 시스템의 특성 파라미터를 도출하는 단계;

(c)상기 모멘트 응답과 상기 도출된 파라미터를 이용하여 상기 제어 대상 시스템을 확률 영역에서의 상미분 방정식으로 모델링하는 단계; 및

(d)상기 확률 영역에서의 상미분 방정식을 실물리 영역에서의 상미분 방정식으로 변환하여 상기 제어 대상 시스템에 인가되는 교란에 의한 노이즈의 실물리 영역에서의 저감 제어신호를 생성하는 단계를 포함하는 시스템의 노이즈 저감 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서, 상기 (a)단계는

F-P-K(Fokker-Planck-Kolmogorov) 방정식을 이용하여 상기 모멘트 응답을 도출하는 것으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 편미분 방정식으로 모델링되는 시스템의 노이즈 저감 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서, 상기 (d)단계는

상기 확률 영역에서의 상미분 방정식을 몬테카를로 기법(Monte Carlo method)에 의해 상기 실물리 영역의 상미분 방정식으로 변환시켜 이루어지는 것을 특징으로 하는 편미분 방정식으로 모델링되는 시스템의 노이즈 저감 방법.

청구항 7

제 6 항의 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 제어 대상 시스템의 시간 영역과 물리 영역에서의 지배 방정식(governing equation)이 편미분 방정식(Partial Differential Equation)으로 모델링되는 제어 대상 시스템의 노이즈를 저감시킬 수 있는 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 제어 대상 시스템의 제어에 있어서는 그 시스템의 시간 영역과 물리 영역(이하 '실물리 영역'으로 칭한다)에서의 지배 방정식이 상미분 방정식(Ordinary Differential Equation)인 시스템에 대해서만 가능하다고 알려져 있으며, 따라서 시스템의 제어에 있어서 가장 문제가 되는 점(crucial point)인 다양한 노이즈를 저감시킴에 있어서도 실물리 영역에서의 지배 방정식이 상미분 방정식인 시스템에 대해서만 가능한 것이 현실이다.
- <3> 시스템을 제어하여 노이즈를 저감시키기 위해서는 제어 대상 시스템을 규명(system identification)하는 것이 전제되어야 하는데, 통상적인 시스템의 규명 방안은 시스템의 실물리 영역에서의 결정적인(deterministic) 입출력을 알고 입출력 간 규칙적인 상관관계를 도출하여 이루어지는 것이었다. 그러나 대다수의 제어 대상 시스템은 실물리 영역에서의 비결정적인 혹은 불규칙한(indeterminable) 교란(noise, disturbance)에 노출되어 있고, 이러한 불규칙한 교란이 시스템에 입력으로 인가된다면 실물리 영역에서 입력을 해석하는 것보다 확률 영역에서 해석하는 것이 보다 더 효율적인 제어를 할 수 있다. 왜냐하면 확률 영역에서는 불규칙한 교란에 대한 해석 결과를 상수(constant)로 나타낼 수 있기 때문이다.
- <4> 이러한 상황을 인식하여 이미 출원되어 등록된 '확률영역에서의 제어 시스템 설계 방법(한국특허등록 : 10-0327508)'이 있는데, 본 특허 발명은 다양한 형태를 갖는 불규칙한 교란뿐만 아니라 시스템의 물리적인 특성을 함께 고려하여 교란에 대하여 효과적으로 대응할 수 있도록, 시간의 함수로 나타나는 비결정적인 교란을 시간에 독립적(time-independent)인 상수로 표현 가능한 PSD(Power Spectral Density)로 변환하여, 실물리 영역에서의 지배 방정식을 확률 영역의 지배 방정식으로 변환하여 얻은 노이즈 저감 제어신호로 실물리 영역에서의 시스템을 제어하는 것이다.
- <5> 그러나 제어 대상 시스템은 실물리 영역에서의 지배 방정식이 상미분 방정식인 경우만 있는 것이 아니라 편미분 방정식인 경우가 실질적으로 더 많으며 실물리 영역에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 시스템의 제어는 현재까지의 여러 제어방안으로는 실질적으로 불가능한데, 이는 현재까지의 제어 대상 시스템의 제어 방안이 실물리 영역에서의 지배 방정식이 상미분 방정식인 시스템에만 응용 내지는 적용이 가능하기 때문이고 이는 상기의 특허 발명도 마찬가지로 해당되어 실물리 영역에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 시스템을 정확하게 제어할 수 있는 방안이 없었다. 즉 편미분 방정식을 지배 방정식으로 하는 시스템에 대한 규명(제어)은 실질적으로 불가능하며, 따라서 교란에 의해 발생하는 노이즈의 저감을 편미분 방정식을 지배 방정식으로 하는 시스템에서는 효과적으로 실현할 수 없는 문제점이 존재한다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <6> 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 창안된 것으로, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 실물리 영역에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 제어 대상 시스템에서 발생할 수 있는 노이즈를 획기적으로 저감시킬 수 있게 하는 방안을 제공하는 것이다.

과제 해결수단

- <7> 상기와 같은 과제를 해결하기 위해 본 명세서에서 개시하는 제어 대상 시스템의 노이즈 저감 장치는

<8> 시간 영역과 물리 영역(이하 '실물리 영역')에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 제어 대상 시스템의 정상적인 랜덤 출력을 확률 영역에서 해석하여 상기 제어 대상 시스템의 확률 모멘트 응답을 도출하는 모멘트 응답 도출부; 상기 도출된 모멘트 응답을 역 변환하여 상기 제어 대상 시스템의 특성 파라미터를 도출하는 특성 파라미터 도출부; 및 상기 모멘트 응답과 상기 도출된 파라미터를 이용하여 상기 제어 대상 시스템을 확률 영역에서의 상미분 방정식으로 모델링하는 모델링부; 및 상기 확률 영역에서의 상미분 방정식을 실물리 영역에서의 상미분 방정식으로 변환하여 상기 제어 대상 시스템에 인가되는 교란에 의한 노이즈의 실물리 영역에서의 저감 제어신호를 생성하는 제어신호 생성부를 포함하여 본 발명이 해결하고자 하는 과제를 해결한다.

<9> 상기와 같은 과제를 해결하기 위해 본 명세서에서 개시하는 제어 대상 시스템의 노이즈 저감 방법은

<10> (a)시간 영역과 물리 영역(이하 '실물리 영역')에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 제어 대상 시스템의 정상적인 랜덤 출력을 확률 영역에서 해석하여 상기 제어 대상 시스템의 확률 모멘트 응답을 도출하는 단계; (b)상기 도출된 모멘트 응답을 역 변환하여 상기 제어 대상 시스템의 특성 파라미터를 도출하는 단계; (c)상기 모멘트 응답과 상기 도출된 파라미터를 이용하여 상기 제어 대상 시스템을 확률 영역에서의 상미분 방정식으로 모델링하는 단계; 및 (d)상기 확률 영역에서의 상미분 방정식을 실물리 영역에서의 상미분 방정식으로 변환하여 상기 제어 대상 시스템에 인가되는 교란에 의한 노이즈의 실물리 영역에서의 저감 제어신호를 생성하는 단계를 포함하여 본 발명이 해결하고자 하는 과제를 해결한다.

효 과

<11> 본 발명에 의하면, 실물리 영역에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 시스템의 랜덤 출력이 정상적(stationary)이기만 하면 그 시스템을 실물리 영역에서의 등가의 상미분 방정식으로 모델링할 수 있으며, 상미분 방정식으로 모델링된 시스템의 파라미터를 이용하여 획득한 노이즈 저감 제어신호로 복잡한 랜덤 노이즈를 저감할 수 있다. 아울러 결정적인 입력을 사용하지 않고도 제어 대상 시스템이 불규칙한 교란에 노출된 상태에서 시스템을 규명할 수 있고, 시간 영역이 아닌 확률 영역에서 시스템을 규명하여 불규칙한 교란을 받는 상황에서 강인함을 보이는 효과가 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<12> 본 발명에 관한 구체적인 내용의 설명에 앞서 이해의 편의를 위해 본 발명이 해결하고자 하는 과제의 해결 방안의 개요를 우선 제시한다.

<13> 본 발명의 목적은 상기한 바와 같이 실물리 영역에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 제어 대상 시스템의 노이즈 저감 방안을 제공하는 것인데, 노이즈 저감이 용이하지 아니한 편미분 방정식을 지배 방정식으로 가지는 제어 대상 시스템을 노이즈 저감이 용이한 상미분 방정식으로 변형 모델링하는 것이 본 발명이 해결하고자 하는 과제의 해결 방안의 개요이다.

<14> 이하, 본 발명이 해결하고자 하는 과제의 해결 방안을 명확하게 하기 위한 발명의 구성을 본 발명의 바람직한 실시예에 근거하여 첨부 도면을 참조하여 상세히 설명하되, 도면의 구성요소들에 참조번호를 부여함에 있어서 동일 구성요소에 대해서는 비록 다른 도면상에 있더라도 동일 참조번호를 부여하였으며 당해 도면에 대한 설명시 필요한 경우 다른 도면의 구성요소를 인용할 수 있음을 미리 밝혀둔다.

<15> 도 1a는 본 시스템 발명의 바람직한 일 구성을 제시한 도면이고, 도 1b는 본 방법 발명의 바람직한 일 흐름을 제시한 도면이다.

<16> 모멘트 응답 도출부(11)는 실물리 영역에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 제어 대상 시스템의 정상적인(stationary) 랜덤 출력을 확률 영역(stochastic domain)에서 해석하여 제어 대상 시스템의 확률 모멘트 응답을 도출(S11)하는 부분으로, 실물리 영역에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 시스템의 출력이 정상적

(stationary)인 랜덤 출력 m_{ij} 인 경우, 이 출력을 확률 영역에서의 모멘트 응답 $\dot{m}_{ij}$ 으로 변환하고 변환된 모멘트 응답을 통하여 실물리 영역에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 시스템을 확률 영역에서의 상미분 방정식으로 시스템을 규명한다. 도 2에는 상기 랜덤 출력 m_{ij} 의 일례를 도시하였고, 도 3에는 모멘트 응답 $\dot{m}_{ij}$ 의 일례를 도시하였다.

<17> 실험물리 영역에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 제어 대상 시스템의 랜덤 출력 m_{ij} 을 모멘트 응답 $\dot{m}_{ij}$ 으로 변환하여 확률 영역에서의 상미분 방정식의 모델로 시스템을 규명하는 것은 F-P-K(Fokker-Planck-Kolmogorov) 방정식을 통하여 이루어지는데, 이를 하기의 식 1로 표현하면 다음과 같다. 이 식은 일반적인 시스템 출력을 모멘트 응답으로 변환시키는 기본적인 식이다.

<18> <식 1>

<19>
$$\dot{m}_{ij} = \iint_{-\infty}^{+\infty} q_1^i q_2^j \frac{\partial p(q, t)}{\partial t} dq_1 dq_2$$

<20> 특성 파라미터 도출부(12)는 도출된 모멘트 응답 $\dot{m}_{ij}$ 을 역 변환하여 제어 대상 시스템의 특성 파라미터를 도출하는 기능을 수행(S12)하는 부분으로, 모멘트 응답의 역 변환은 하기의 식 2에 의하여 이루어진다.

<21> <식 2>

<22>
$$\omega_o = f(\dot{m}_{ij}, m_{ij}), \quad \zeta = g(\dot{m}_{ij}, m_{ij}, \omega_o)$$

<23> 여기서 ω_o 는 제어 대상 시스템의 고유 진동수(natural frequency)를, ζ 는 제어 대상 시스템의 감쇠 비(damping ratio)를 의미한다. 그리고 f는 랜덤 출력 m_{ij} 과 모멘트 응답 $\dot{m}_{ij}$ 으로 구성되어 고유 진동수 ω_o 의 특성을 포함하는 함수이며, g는 m_{ij} , $\dot{m}_{ij}$ 과 ω_o 로 구성되어 감쇠 비 ζ 의 특성을 포함하는 함수를 갖는 함수이다.

<24> 모델링부(13)는 모멘트 응답과 도출된 파라미터를 이용하여 제어 대상 시스템을 확률 영역에서의 상미분 방정식으로 모델링하는 기능을 수행(S13)하는 부분이다. 모델링의 상세는 하기의 적용예와 결부시켜 설명될 것이다.

<25> 제어신호 생성부(14)는 확률 영역에서의 상미분 방정식을 실험물리 영역의 상미분 방정식으로 변환하여 제어 대상 시스템에 인가되는 교란에 의한 노이즈의 저감 제어신호를 생성하는 기능을 수행(S14)하는 부분인데, 확률 영역에서의 상미분 방정식을, 상기 언급한 특허 발명을 이용하여, 몬테카를로 기법(Monte Carlo method)에 의해 실험물리 영역의 상미분 방정식으로 변환시켜 저감 제어신호를 생성한다.

<26> <본 발명의 적용예 : Helmholtz 자기장 발생 시스템>

<27> 실험물리 영역에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 시스템의 일례로 Helmholtz 자기장 발생 시스템을 들 수 있는데, 그 시스템이 도 4에 제시되어 있다.

<28> 이 시스템에서의 원형 코일에 전류를 인가하여 얻는 자기장의 세기는 Biot-Savart 법칙을 이용하면 하기의 식 3과 같이 나타낼 수 있다(도 5 참조).

<29> <식 3>

<30>
$$B(x) = \frac{N \cdot \mu_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

<31> 식 3과 맥스웰 방정식(Maxwell's equation)을 이용하여, 하기의 식 4와 같이, Helmholtz 자기장 발생 시스템의 실험물리 영역에서의 편미분 방정식을 도출할 수 있다.

<32> <식 4>

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\mu_0 I N R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \right) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\mu_0 I N R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \right) = 0$$

<33>

<34> 여기서 μ_0 는 투자율(permeability)을 나타내고, R은 원형 코일 반지름, N은 코일 감긴 수, I는 인가 전류, X는 원형코일 중심으로부터의 거리, c는 광속을 나타낸다.

<35> 모멘트 응답 도출부(11)는 실물리 영역에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 Helmholtz 자기장 발생 시스템의 정상적인 랜덤 출력인 자기장의 세기를 확률 영역에서 해석하여 Helmholtz 자기장 발생 시스템의 확률 모멘트 응답을 상기의 식 1을 적용하여 도출(S11)하여 실물리 영역에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 Helmholtz 자기장 발생 시스템을 확률 영역에서의 상미분 방정식으로 Helmholtz 자기장 발생 시스템을 규명한다.

<36> 특성 파라미터 도출부(12)는 도출된 모멘트 응답을 역 변환하여 Helmholtz 자기장 발생 시스템의 특성 파라미터 ω_0 와 ζ 를 상기의 식 2를 적용하여 도출한다.

<37> 모델링부(13)는 모멘트 응답과 도출된 파라미터를 이용하여 실물리 영역에서의 지배 방정식이 편미분 방정식인 Helmholtz 자기장 발생 시스템을 확률 영역에서의 상미분 방정식으로 모델링하는데 그 상미분 방정식은 다음과 같다.

<38> <식 5>

$$\ddot{q} + 2\zeta\omega_0\dot{q} + \omega_0^2q = z(t)$$

<39>

<40> 여기서, q는 Helmholtz 자기장 발생 시스템의 랜덤 출력, $\dot{q}$ 는 Helmholtz 자기장 발생 시스템의 확률 모멘트 응답, z(t)는 Helmholtz 자기장 발생 시스템의 랜덤 입력을 나타낸다.

<41> 제어신호 생성부(14)는 확률 영역에서의 상미분 방정식을 몬테카를로 기법을 이용하여 실물리 영역의 상미분 방정식으로 변환하여 Helmholtz 자기장 발생 시스템에 인가되는 교란에 의한 노이즈의 저감 제어신호를 생성하게 된다(S14).

<42> 도 6은 본 발명을 본 실시예에 의한 자기장 발생 시스템에 적용한 경우의 도출된 시스템 파라미터 중 ω_0 를, 도 7은 ζ 를 도시한 것이며, 도 8은 본 발명을 적용한 결과인 노이즈가 저감된 자기장의 세기를 도시한 것이다. 도 6 내지 도 7로부터 확인할 수 있는 바와 같이 시스템 파라미터와 자기장의 세기(Magnetic Intensity)가 본 발명의 적용에 의해 안정화(stabilizing)되는 현상을 확인할 수 있다.

<43> 본 방법발명은 또한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함한다.

<44> 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광 데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 유무선 네트워크를 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

<45> 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예를 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

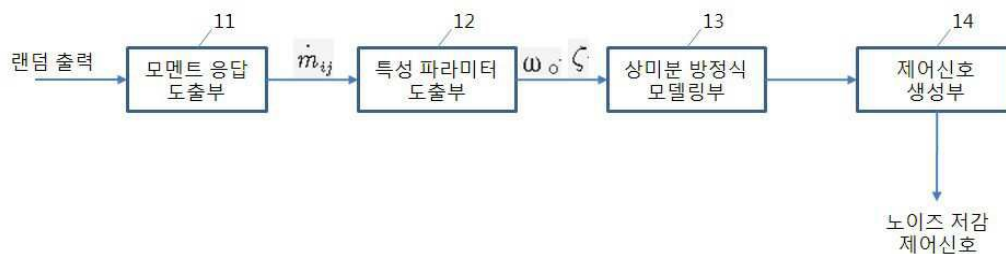
<46> 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 균등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

- <47> 도 1a는 본 시스템 발명의 바람직한 일실시예의 구성을 제시한 도면이다.
- <48> 도 1b는 본 방법 발명의 바람직한 일 흐름을 제시한 도면이다.
- <49> 도 2는 랜덤 출력 m_{ij} 의 일례를 도시한 도면이다.
- <50> 도 3은 모멘트 응답 $\dot{m}_{ij}$ 의 일례를 도시한 도면이다.
- <51> 도 4는 편미분 방정식으로 모델링되는 시스템의 일례인 Helmholtz 자기장 발생 시스템을 제시한 도면이다.
- <52> 도 5는 Helmholtz 자기장 발생 시스템에서 발생하는 자기장의 세기 해석을 위해 제시한 도면이다.
- <53> 도 6은 본 발명을 Helmholtz 자기장 발생 시스템에 적용한 경우의 도출된 시스템 파라미터 중 ω_0 를 도시한 도면이다.
- <54> 도 7은 본 발명을 Helmholtz 자기장 발생 시스템에 적용한 경우의 도출된 시스템 파라미터 중 ζ 을 도시한 도면이다.
- <55> 도 8은 본 발명을 Helmholtz 자기장 발생 시스템에 적용한 결과인 노이즈가 저감된 자기장의 세기를 도시한 도면이다.

도면

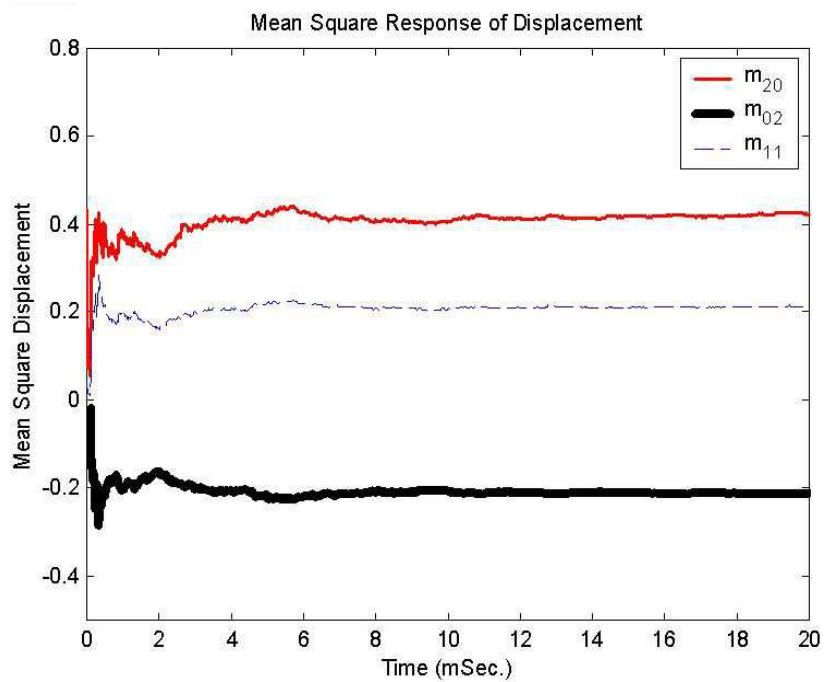
도면1a



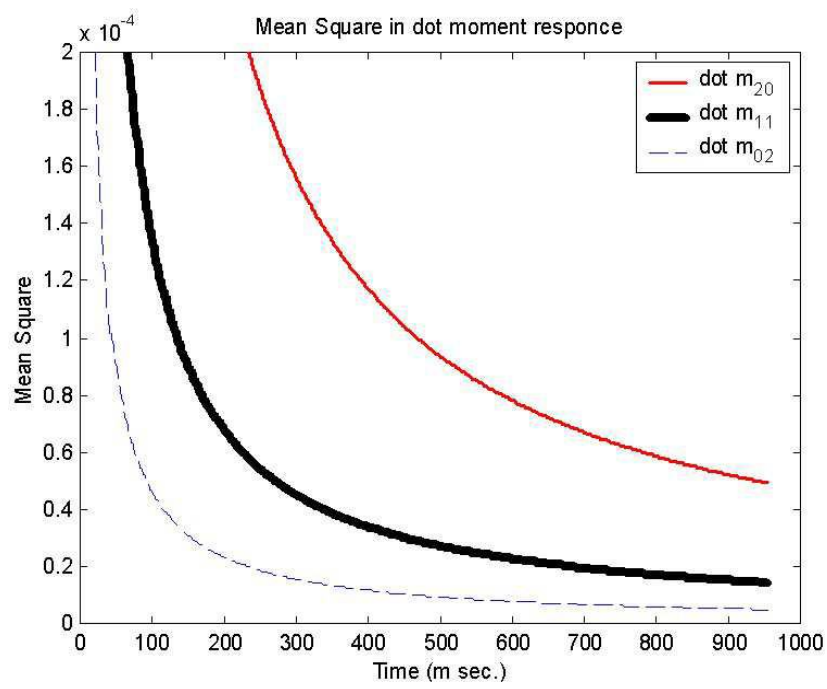
도면1b



도면2



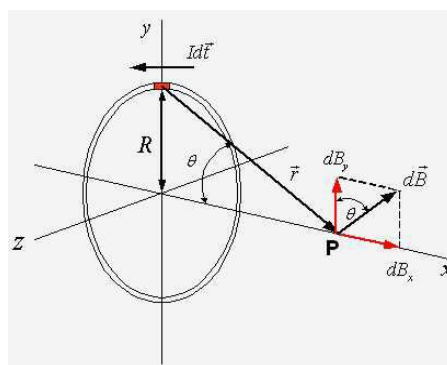
도면3



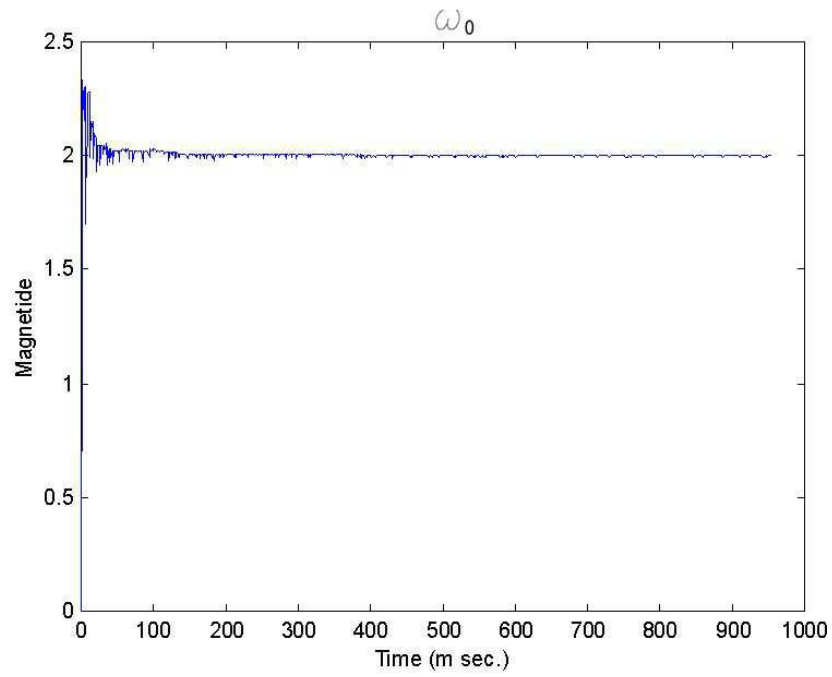
도면4



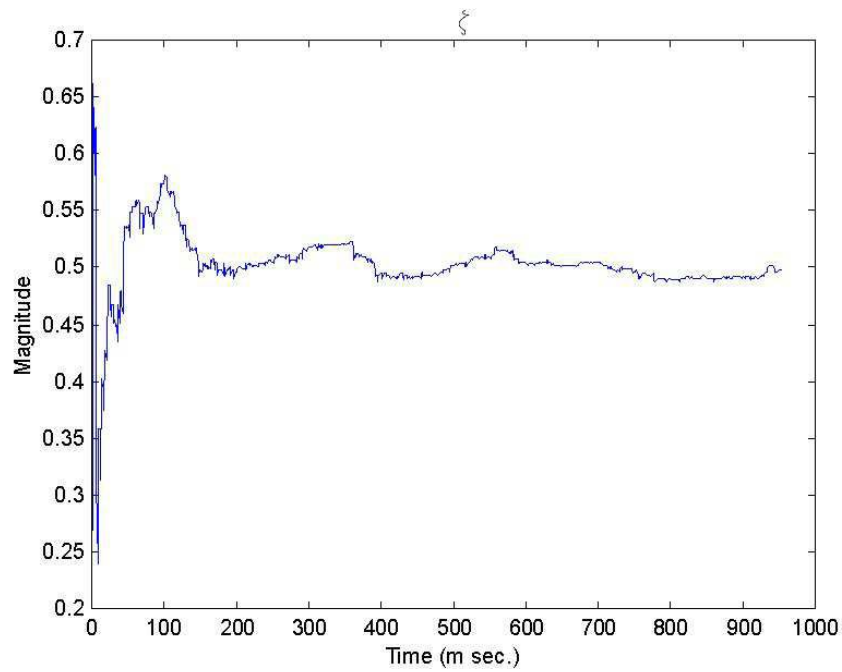
도면5



도면6



도면7



도면8

