

空氣壓타이어의 平面振動特性에 關한 研究

Study on the In-Plane Vibration Characteristics of the Pneumatic Tires

金 南 銓*, 李 鍾 瑚**

Nam Joen Kim, Chong-Ho Lee

Summary

The vibrational characteristics of a radial-ply (155SR13 4PR) and a biased-ply tire (6.15-13 4PR) were investigated for examining the effects of tires with different structure on the ride characteristics of the vehicle.

The natural frequencies at the tread band, mode shapes, and damping factors of two tires at the state of plane vibration were determined experimentally. The test work was performed at four levels of the inflation pressure, ranging from 171.7 kPa to 245.2 kPa, and three levels of the vertical load, deviating by 10% from the standard load designated by the Department of Transportation of the United States of America.

The following results were drawn by the analysis of the test results:

1. The first-order natural frequencies of the radial-ply and the biased-ply tires at the tread band were 112 Hz and 159 Hz, respectively, at the state of the free vibration when the inflation pressure of 196.2 kPa was applied. It was known that the biased-ply tire has higher resonant frequency than the radial-ply tire and the natural frequencies of the both tires move to the high frequency range as the inflation pressure is increased.
2. The vibration modes of both tires were quite different. No big difference in mode shapes was examined as the inflation pressure was increased. But the natural frequencies of two tires were changed. For the radial-ply tire, no difference in mode shape was found whether the vertical load was applied or not. But a significant difference in mode shape was examined for the biased-ply tire.
3. Any difference was not found in damping factor as the different inflation pressures were applied.
4. When no vertical load was applied, damping factors of the radial-ply and biased-ply tire at the state of the natural vibration ranged from 2.6 to 5.9%, and from 4.1 to 7.8%, respectively. It was estimated that the radial-ply tire would have better cushioning than the biased-ply tire since the vertical spring rate of the radial-ply tire was much less than that of the biased-ply tire, even though the damping effect of the radial-ply tire was smaller than that of the biased-ply tire.

*全北大學校 大學院

**全北大學校 農工學科

1. 緒 論

最近에 와서 乘用車나 트랙터등과 같은 모든 車輛의 乘車感에 對한 觀心은 人間工學的인 側面에서 漸次 高潮되고 있다. 車輛의 乘車特性(ride characteristics)을 決定하는 重要한 要因이라고 할 수 있는 車體振動은 不均一한 路面 特히 타아르 스트립(tar strip), 突起(bump), 패인 구멍(pot hole) 및 이음새(joint) 通過時에 타이어를 통해 車體에 傳達되며 다시 懸架裝置(suspension element), 고무마운트(rubber mount)등을 통해 室內에 傳達된다. 따라서 走行中인 車輛의 振動特性을 究明하기 위해서는 路面의 振動要因과의 一次的인 接觸을 통해 車體振動을 誘發하는 타이어의 振動特性을 于先의 으로 밝힐 必要가 있다.

空氣壓타이어는 여러 部分으로 構成되어 있으나 이 가운데 카카스(carcase)의 構造가 타이어의 振動에 가장 큰 影響을 미친다고 알려져 있다.

타이어 가운데 래디얼 플라이 타이어(radial-ply tire)는 카카스 코드(carcase chord)가 래디얼平面에 配列되어 있으며 래디얼 카카스의 平衡프로파일(equilibrium profile)을 變形하여 中央圓周上에 補強材인 鋼벨트(steel belt)를 配列한 構造로 되어 있어 바이아스 플라이 타이어(biased-ply tire)와는 카카스코드층의 構造가 根本的으로 다르다고 할 수 있다.

Tielking⁸⁾ (1956)은 空氣壓타이어를 質量과 粘性댐퍼(viscous damping element)가 붙어 있는 線型스프링으로 構成된 시스템이라고 假定하고 이를 線型모델(linear model)로 數式化하여 이를 통해 空氣壓타이어의 平面振動特性을 理論的으로 考察한 바 있으며 좀더 複雜한 粘彈性모델로 數式化한 경우도 있다(Wong¹⁰⁾, 1978).

또한 Federhofer⁵⁾ (1939-1940)는 空氣壓타이어를 單純化된 環圓體(toroidal shell)라고 假定하여 타이어 트래드밴드(tread band)의 自由振動모우드에 關한 서뮤레이슨結果를 報告한 바 있다.

車輛의 乘車特性(ride characteristics)를 서뮤레이슨方法을 통해 理論的으로 究明하는 데는 非구름動的 剛性(nonrolling dynamic stiffness)보다는 구름動的 剛性(rolling dynamic stiffness)이 많이 利用된다. 구름動的 剛性을 測定하는 方法으로는 既

知의 調和振動(harmonic excitation)을 空氣壓타이어의 트래드밴드에 可하여 이의 反應을 허브(hub)에서 測定하고 入·出力比와 位相角(phase angle)을 分析하여 動的 剛性和 댐핑係數(damping coefficient)를 決定하는 方法과 空氣壓타이어를 回轉드럼이나 벨트위에서 굴르도록 하여 共振周波數(resonant frequency)를 測定하고 이에 따라動的 剛性이나 댐핑係數를 決定하는 方法등이 있다.

Barson²⁾ (1967-1968) 등은 空氣壓타이어의 全體的인 振動特性을 알아보기 위하여 래디얼 플라이타이어와 바이아스 플라이타이어를 變速回轉드럼으로 可振하여 허브의 加速度를 周波數의 函數로 表示한 바 있다.

타이어의 剛性에는 코드층의 크라운角(crown angle), 플라이數, 使用材料등과 같은 設計과라메타外에 空氣壓, 速度, 垂直荷重등과 같은 作動과라메타들도 큰 影響을 미치게 된다(Wong¹⁰⁾, 1978).

따라서 本 研究에서는 走行中인 車輛의 振動特性을 究明하기 위한 研究의 一環으로 카카스 코드의 構造가 相異한 래디얼 플라이타이어와 바이아스 플라이타이어를 供試하여 타이어의 空氣壓과 垂直荷重의 變化에 따른 트래드 밴드의 固有振動數, 모우드의 形狀, 振動減衰率을 實測·分析하여 供試타이어의 平面振動特性을 考察하기 위하여 遂行되었다.

2. 材料 및 方法

가. 實驗裝置

本 研究에 使用된 타이어 振動試驗機의 概略圖는 그림 1에 圖示된 바와 같다. 타이어의 振動을 感知하는 데는 壓電式加速度計(piezoelectrical accelerometer, AM 103MP)가 使用되었으며 入力測定에는 키슬러 힘變換器(kistler force transducer)가 使用되었다.

또한 本 試驗機에는 1個의 基準채널(reference channel)과 10個의 測定채널이 具備되어 있기 때문에 1個의 基準信號(reference signal)에 對해 10個의 測定信號를 同時에 抽出(acquisition)할 수 있도록 되어 있다.

나. 供試타이어

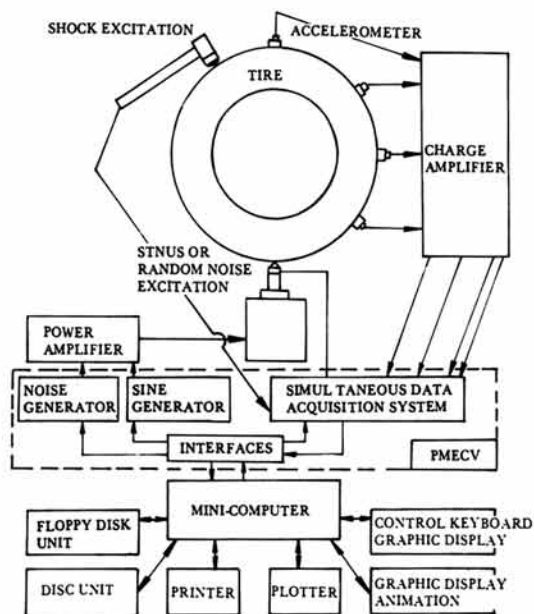


Fig. 1. Schematic diagram of the vibration modal analysis system.

本 試驗에는 等價規格(equivalent size)이며 플라 이레이트(PR)가 同一한 래디얼 플라이 타이어(155 SR134PR)와 바이아스 플라이 타이어(6.15-134 P R)가 供試되었다.

다. 試驗方法

타이어 트래드밴드 圓周上에 中央點으로부터 약 5 cm間隔으로 特殊接着劑로 加速度計를 附着하였 으며 彈性고무밴드를 利用하여 타이어를 空中에 메단 다음 衝擊햄머(impact hammer)나 加振器(exciter) 를 利用하여 타이어에 振動을 可하였다.

이때 타이어의 基準空氣壓은 두 種類의 타이어 共 히 196.2kPa(2.0kg/cm²)로 하였으며 空氣壓變化에 따른 固有振動數의 變化를 알아보기 위해서는 타이어의 空氣壓을 基準空氣壓에서 24.5kPa(0.25kg/cm²) 석을 增減시킨 4水準의 空氣壓에서의 入·出力씨그 날을 檢出·分析하였다.

또한 垂直荷重變化에 따른 固有振動數등의 變化 를 알아보기 위해서는 美運輸省의 規定荷重 負荷時 와 10%씩을 增減시켰을 때의 反應을 檢出·分析 하 였다.

모든 測定信號는 10回 測定值를 애버리징(averaging) 하였고 그림 2에 보인 바와 같은 入·出力信號

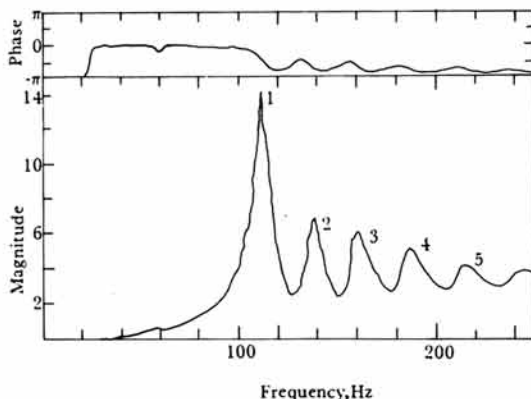


Fig. 2. Transfer function for the tread band vibration of the radial-ply tire under the inflation pressure of 196.2kPa.

間的 函數關係 即 傳達函數를 求하고 이를 利用하여 타이어의 固有振動數, 모우드形狀, 各 모우드에서의 댐핑係數를 求하였다.

또한 空氣壓타이어의 스프링係數(spring rate)를 測定하는 데는 萬能타이어試驗機(universal tire tester)가 利用되었다. 여기서 말하는 스프링係數란 一般의으로 美運輸省의 規定荷重과 規定荷重의 60%에 相當하는 荷重사이의 荷重-變位曲線(load-deflection curve)의 平均 기울기라고 定義된다.

3. 結果 및 考察

가. 固有振動數

타이어의 空氣壓이 196.2kPa(2.0kg/cm²)이고 無 負荷일 경우 래디얼 플라이 타이어와 바이아스 플라이 타이어의 트래드밴드에서의 固有振動數는 各 各 112Hz 및 159Hz였는바 바이아스 플라이 타이어의 共振周波數가 래디얼 플라이 타이어의 共振周波數보다 높은 周波數領域에 있음을 알 수가 있었다.

無負荷狀態일 경우 空氣壓變化에 따른 두가지 타이어의 次數別 振動數를 表示한 表1에서 알 수 있는 바와 같이 固有振動數는 타이어의 空氣壓이 增加함에 따라 增加함을 알 수가 있었다. 卽 타이어의 空氣壓이 171.7kPa(1.75kg/cm²)에서 245.2kPa(2.5kg/cm²)로 73.5kPa(0.75kg/cm²) 增加함에 따라 래디얼 플라이 타이어와 바이아스 플라이 타이어의 1次 固有振動數는 各 各 12Hz 및 10Hz 程度 高周波 쪽으로 移動하였는바 이와같이 空氣壓이 增加함에

Table 1. Natural frequencies and damping factors of the radial-ply and biased-ply tires under various inflation pressure.

Tires	Pressure Order	171.7 kPa		196.2 kPa		220.7 kPa		245.2 kPa	
		NF (Hz)	DF (%)	NF (Hz)	DF (%)	NF (Dz)	DF (%)	NF (Hz)	DF (%)
Radial	1st	108.8	3.5	112.0	3.0	116.5	3.4	120.9	3.0
	2nd	133.0	3.3	137.9	2.8	142.9	2.8	147.0	2.6
	3rd	155.8	4.5	160.4	3.3	167.0	3.1	171.9	2.9
	4th	182.0	4.1	186.7	4.4	194.6	3.7	200.8	3.4
	5th	209.5	5.9	215.4	5.2	223.9	4.6	230.4	4.2
Biased	1st	156.3	4.4	159.0	7.8	162.3	4.1	166.4	—
	2nd	178.0	5.0	178.7	—	185.7	4.1	187.4	—
	3rd	208.0	4.8	204.9	4.6	213.2	4.7	218.0	—
	4th	237.2	4.3	244.7	5.0	244.7	5.0	248.0	—

NF = Natural Frequency, DF = Damping Factor

Table 2. Spring rates of the radial-ply and biased-ply tires under various inflation pressure in Newton per millimeter.

Inflation Pressure	171.7 kPa	196.2 kPa	220.7 kPa	245.2 kPa
Radial (R)	163.53	181.68	186.19	218.86
Biased (B)	256.34	279.59	303.52	307.05
Ratio (B/R)	1.57	1.54	1.63	1.40

따라 固有振動數가 增加하는 것은 空氣壓이 增加함에 따라 타이어의 剛性(stiffness)이 增加하게 되기 때문이라고 豫想되었다. 따라서 타이어의 空氣壓과 剛性간의 關係를 알아보기 위하여 空氣壓變化에 따른 타이어의 스프링係數(spring rate)를 測定하고 그 結果를 表2에 表示하였다.

表2에서 알 수 있는 바와 같이 두 種類의 타이어에서 共히 空氣壓이 增加함에 따라 타이어의 스프링係數도 增加함을 알 수가 있었고 바이아스 플라이 타이어의 스프링係數가 래디얼 플라이 타이어의 스프링係數보다 약 50%程度 높게 나타났다.

또한 負荷變化에 따른 타이어의 固有振動數를 測定한 結果 表3에서 알 수 있는 바와 같이 두 種類의 타이어에서 共히 負荷가 10%씩 增減함에 따른

固有振動數의 變化에는 뚜렷한 傾向을 찾아 볼 수가 없었으나 規程荷重의 90%로부터 110%까지 負荷가 增加할 경우에는 固有振動數는 大體적으로 增加하는 것으로 把握되었다. 또한 表1과 表3을 比較하여 볼때 負荷時의 固有振動數가 無負荷時의 固有振動數보다 高周波쪽으로 移動하였고 이러한 傾向은 래디얼 플라이 타이어의 경우에 더욱 뚜렷하게 나타남을 알 수가 있었다.

나. 모우드形狀(mode shape)

無負荷 自由振動狀態에서 두 타이어의 트래드 밴드에서의 振動모우드를 求하고 그 結果를 그림3에 圖示하였다. 그림3에서 알 수 있는 바와 같이 두 타이어의 振動모우드는 相異하였다. 卽 래디얼 플

Table 3. Natural frequencies and damping factors of the radial-ply and biased-ply tires under various load.

Tires	Load	90% Load		100% Load		110% Load	
	Order	NF (Hz)	DF (%)	NF (Hz)	DF (%)	NF (Hz)	DF (%)
Radial	1st	126.8	3.3	128.8	3.4	130.9	2.2
	2nd	156.9	2.5	156.8	2.4	158.2	—
	3rd	185.0	2.7	185.0	2.7	186.1	3.1
	4th	215.8	3.1	215.1	3.1	211.8	4.8
	5th	245.7	3.2	247.9	2.8	—	—
Biased	1st	162.9	3.3	167.0	3.4	166.8	3.0
	2nd	201.9	—	201.9	4.6	200.0	5.6
	3rd	228.0	3.8	227.9	2.6	239.9	4.9
	4th	743.8	4.5	253.8	3.5	265.7	5.2
	5th	261.9	5.5	—	—	—	—

NF = Natural Frequency, DF = Damping Factor

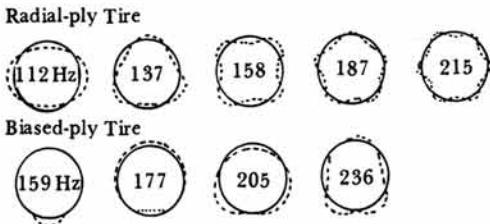


Fig. 3. Various vibration mode shapes of the radial-ply and biased-ply tires under the inflation pressure of 196.2 kPa.

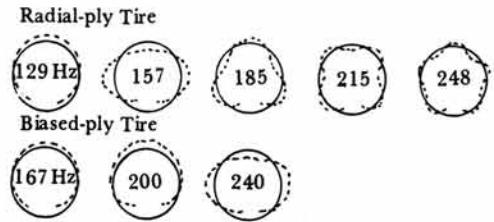


Fig. 4. Various vibration mode shapes of the radial-ply and biased-ply tire under loads of 4.894 kN and 4.450 kN, respectively.

라이 타이어의 경우 트래드밴드는 波狀으로 振動하면서 格點(node)이 4個인 모우드로부터 順次的으로 모우드形狀이 分明하여지는 反面 바이아스 플라이 타이어의 경우에는 低次 모우드에서도 格點이 分明하게 나타나지 않았으며 高次 모우드가 될수록 格點이 더욱 不分明하게 되었는데 本 研究에서와 같은 實驗的인 方法으로는 바이아스 플라이 타이어의 모우드形狀을 正確히 把握하기는 어려웠다. 이와 같은 事實은 두 타이어의 構造上의 差別에 起因한다고 思料된다. 即 래디얼 플라이 타이어에는 剛性を 補強하기 위하여 트래드 밴드 圓周上에 鋼벨트(steel belt)가 配列되어 있는 反面 바이아스 플라이 타이어는 40° 程度의 크라운角을 갖는 코트層만으로 構成되어 있기 때문에 振動모우드가 相異할

것이라고 推測되었다.

또한 荷重變化에 따른 타이어의 振動 모우드變化를 圖示한 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 래디얼 플라이 타이어의 振動모우드는 無負荷時의 振動모우드와 類似하여 큰 差異를 發見할 수 없었다. 이에 反해 바이아스 플라이 타이어의 振動모우드는 負荷가 變化함에 따라 相異하여짐을 알 수가 있었다.

負荷時에는 래디얼 플라이 타이어와 바이아스 플라이 타이어의 경우 각각 129Hz와 167Hz 附近에서 無負荷時에는 나타나지 않았던 格點이 2個인 모우드가 나타남을 알 수가 있었다.

Tielking⁹⁾(1965)은 空氣壓타이어를 스프링-댐퍼 모델로 看做한다. 씨뮤레이션한 結果 無負荷狀態에

서 격점이 2개인 모우드가 존재한다고 밝힌 바 있으나 본 실험에서는 격점이 2개인 모우드는 발견되지 않았다.

또한 공기압 증減에 따른 모우드形狀의 變化는 觀察되지 않았으며 단지 固有振動數만 變化함을 알 수 있었다.

다. 振動減衰率(damping factor)

臨界減衰係數(critical damping coefficient)에 對한 각 모우드에서의 減衰係數의 百分率로 定義되는 振動減衰率(damping factor)은 表1에 表示된 바와 같다. 래디얼 플라이 타이어와 바이아스 플라이 타이어의 振動減衰率은 無負荷, 自由振動狀態에서 各 各 2.6-5.9% 및 4.1-8.0% 範圍로서 바이아스 플라이 타이어의 振動減衰率이 래디얼 플라이 타이어의 振動減衰率보다 크게 나타났다. 이와같은 傾向은 Overton⁷⁾(1969-1970) 등의 結果와 一致하였다.

또한 負荷變化에 따른 振動減衰率의 變化는 表3에서 알 수 있는 바와 같이 래디얼 플라이 타이어와 바이아스 플라이 타이어의 경우 各 各 2.2-4.8%, 3.0-5.6% 範圍로서 負荷時의 振動減衰率은 無負荷時보다 減少하였다.

또한 주어진 공기압範圍(171.7-245.2kPa)內에서는 공기압의 變化는 振動減衰率에 큰 影響을 미치지 않음을 알 수 있었다.

以上에서와 같은 內容을 綜合的으로 考察할 때 振動減衰效果는 바이아스 플라이 타이어가 래디얼 플라이 타이어보다 良好하다고 할 수 있으나 바이아스 플라이 타이어의 스프링係數가 래디얼 플라이 타이어의 스프링係數보다 50%程度 크기 때문에 全般的인 緩衝效果는 래디얼 플라이 타이어의 경우가 良好할 것이라고 判斷되었다. 그러나 車輛의 乘車感과 關聯된 車輛振動問題는 타이어의 振動特性만을 考察하는 것 만으로는 充分치 않으며 타이어를 包含한 車輛의 모든 振動要素를 網羅한 綜合的인 研究가 遂行되어야 할 것이라고 思料되었다.

4. 結 論

構造가 相異한 타이어로 因한 車輛의 乘車特性을 알아보기 위한 研究의 一環으로 等價規格인 래디얼 플라이 타이어(155SR13 4PR)와 바이아스 플라이

타이어(6.15-13 4PR)를 供試하여 4水準의 공기압 및 無負荷를 包含한 4水準의 垂直荷重 變化時 平面振動狀態에서의 트래드 밴드의 固有振動數, 모우드形狀 및 各 모우드에서의 振動減衰率을 實驗的으로 測定하여 分析한 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

가. 공기압이 196.2kPa(2.0kg/cm²)이며 無負荷 自由振動狀態일 경우 래디얼 플라이 타이어와 바이아스 플라이 타이어의 1次固有振動數는 各 各 112Hz 및 159Hz였으며 바이아스 플라이 타이어의 共振周波數가 래디얼 플라이 타이어의 共振周波數보다 高周波 領域에 存在함을 알 수가 있었다. 또한 공기압이 增加함에 따라 두 타이어의 固有振動數는 共히 高周波쪽으로 移動하였는 바 이것은 공기압의 增加에 따른 타이어의 剛性增加에 起因하는 것이라고 判斷되었다.

나. 供試된 두 타이어의 振動모우드는 相異하였으며 공기압이 變化할 경우 모우드形狀은 큰 變化를 보이지 않은 反面 固有振動數는 變化함을 알 수가 있었다. 래디얼 플라이 타이어의 경우 無負荷時와 負荷時의 모우드形狀間에서 큰 差異가 發見되지 않았으나 바이아스 플라이 타이어의 경우에는 相當한 差異가 있음이 發見되었다.

다. 振動減衰率은 공기압變化에 따라 別다른 變化를 보이지 않았다.

라. 無負荷 自由振動狀態일 경우 래디얼 플라이 타이어와 바이아스 플라이 타이어의 振動減衰率은 各 各 2.6-5.9% 및 4.1-7.8% 範圍로서 두 타이어中 바이아스 플라이 타이어의 振動減衰效果가 보다 크다는 事實을 알 수가 있었다.

또한 負荷時의 振動減衰率은 無負荷時의 振動減衰率보다 1~3%程度 減少하였다.

以上에서 考察된 內容을 綜合하여 생각할 때 負荷에 關係없이 바이아스 플라이 타이어가 래디얼 플라이 타이어보다 振動減衰效果는 若干 크지만 스프링係數가 래디얼 플라이 타이어의 스프링係數 보다 50%程度 크기 때문에 全體的인 緩衝效果는 래디얼 플라이 타이어쪽이 오히려 良好할 것이라고 判斷되었다.

5. 參考文獻

1. 赤坂 隆, 加部和幸, 淺野一夫, 白井哲也. 1979.

ラジアルタイヤの振動特性について(タイヤの力学第16報). 中央大学理工学部紀要 第22巻 pp. 279-303.

2. Barson, C.W., D.H. James, and A.W. Morcombe. 1967-1968. Some Aspects of Tire and Vehicle Vibration Testing. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 182, Part 3B.
3. Chiesa, Arturo. 1965. Vibrational Performance Differences between Tires with Cross-Biased Plies and Radial Plies. SAE Paper No. 650117.
4. Clark, S.K. 1982. Mechanics of Pneumatic Tires. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. pp. 726-773.
5. Federhofer, K. 1939-1940. Zur Schwingzahlberechnung des dungwandigen Hohlenreifens. Ing. Archiv, 10-11, 125.
6. Mathews, J. and J.D.C. Talamo. 1965. Ride Comfort for Tractor Operators, III. Investigation of Tractor Dynamics by Analog Computer Simulation. J. agric. Engng Res., 10(2):93-108.
7. Overton, J.A., B. Mills, and U.T. Joyner. 1969-1970. The Vertical Response Characteristics of the Non-Rolling Tire. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 184, Part 2A, No. 2
8. Thomson, William T. 1965. Vibration Theory and Applications. Printice-Hall, Inc.
9. Tielking, J.T. 1965. Plane Vibration Characteristics of a Pneumatic Tire Model. SAE Paper No. 650492.
10. Wong, J.Y. 1978. Theory of Ground Vehicles. John Wiley & Sons, Inc. Chap. 1, pp.1-54.



學位取得

姓名: 裴英煥
生年月日: 1956. 10. 14
勤務處: 서울大學校 農科大學(講師)
取得學位名: Ph. D.
學位授與大學: Texas A&M University, U. S. A.
學位取得年月日: 1987. 12. 12
學位論文: Mapping Grain Yield with a Combine Instrumented for Location Detection