دراسة تصميم وأداء محرك بارد وعديم التلوث باستخدام النتروجين السائل كمائع شغل

د. حيدر شاكر عبد ا
كلية الهندسة – جامعة القادسية
قسم الهندسة الميكانيكية

الخلاصة

تم استخدام النتروجين السائل LN_2 كمائع شغل لمحرك يعمل على أساس دورة رانكن المفتوحة Open Rankine Cycle. ان هذا المحرك تم تصميمه نظرياً بحيث يحقق اكبر عملية انتقال حرارة خلال شوط التمدد Expansion Stroke باستخدام مبادلات حرارية هوائية، حيث إن هذا المحرك لا يوجد فيه أي احتراق بل تمدد لضغط النتروجين السائل فقط .إذا كانت كمية الحرارة الداخلة خلال شوط التمدد كبيرة , فان هذا المحرك يعوض عن استخدام المحركات الكهربائية من ناحية القدرة الخارجة وكلفة التشغيل في حالة الإنتاج بالجملة. كل هذه التحديات الهندسية تم دراستها في هذا البحث. بالإضافة إلى العديد من الطرق اللازمة للحصول على التمدد الايزوثيرمي Isothermal Expansion.

كلمات رئيسية: محرك، مركبات، تمدد، آيزوثيرمي، مائع الشغل.

A Study for Design and Performance of a Cool and Zero Emission Engine Using Liquid Nitrogen as a Working Fluid

Dr. Hayder Shakir Abdulla
Al-Qadisiyia University-College of Engineering
Mechanical Engineering Department

Liquid Nitrogen LN_2 is used as a working fluid for an engine using an open Rankine cycle. Ambient heat exchangers are used to open power the engine that is configured to maximize heat transfer during the expansion stroke, where in this engine no combustion will occur, but only expansion to LN_2. If sufficient heat input during the expansion process can be realized, then this engine would provide greater automotive ranges and lower operating costs than those of electric vehicles currently being considered for mass production. This engineering challenges has been evaluated and several means of achieving isothermal expansion are discussed.

الرموز المستخدمة Nomenclature

A_p: المساحة السطحية لرأس المكبس , m^2

A_c: المساحة الداخلية لحجم الخلوص , m^2

A_w: المساحة الداخلية للاسطوانة , m^2

A_h: مساحة راس المكبـــس, m^2

C_p: الحرارة النوعية, j/kg.K

d: قطر الاسطوانة , m

f: معامل الاحتكاك للغاز ,لابعدي

h: المحتوى الحراري j/kg, enthalpy

h_x: معامل انتقال الحرارة , $W/m^2.K$

k: الموصلة الحرارية $W/m.K$

m: معدل تدفق الكتلة, kg/s

n,m: أسس للمعادلة(3)

Nu: عدد نسلت , $\frac{hd}{k}$, لابعدي

N: السرعة الدورانية , RPM

P: الضغط , N/m^2

Pr: عدد برانتدل $\frac{C_p\mu}{k}$, لابعدي

Q: انتقال الحرارة , W

R: نسبة طول عمود الربط إلى نصف قطر عمود المرفق , لابعدي

Re: عدد رينولدز, $\frac{\rho U_p d}{\mu}$

S: طول الشوط , m , Stroke

St: عدد ستانتن $\frac{h_x}{\rho U_p C_p}$, لابعدي

T: درجة الحرارة , K

t_r: سمك حلقة المكبس, m

U_P: سرعة المكبس , m/s

V: الحجم , m^3

V_c: حجم الخلوص , m^3

V_h: حجم الرأس , m^3

W_f: شغل الاحتكاك, j

W: شغل الدورة , j

الرموز اليونانية Greek

η : كفاءة الدورة

θ : زاوية عمود المرفق degree , Grank Angle

γ : نسبة الحرارة النوعية , $\frac{C_p}{C_v}$, لابعدي

μ : اللزوجة الحركية , $\frac{kg}{m.s}$

δS : جزء الشوط التفاضلي , m

δW_f : جزء الشغل الاحتكاكي التفاضلي , j

الرموز الدليلية السفلية Subscripts

i: الحقن , injection

e : العادم , exhaust

w: الجدار , wall

h: عالي ,high

L: واطئ Low

المقدمة Introduction

ان الفكرة الأساسية في استخدام النتروجين السائل LN_2 هي بالاستفادة من الجو Atmosphere كمصدر حراري ليبخر ويحمص السائل ليتم استخدامه في دورة القدرة الحرارية على عكس المحركات الحرارية المعروفة والتي تستخدم مصدر طاقة بدرجة حرارة اعلى من درجة حرارة الجو باستخدام الجو كوسط بارد heat sink . في كلا الحالتين ان كفاءة الدورة هي :

$$\eta = \frac{W}{Q_h} = 1 - \frac{T_L}{T_h} \quad (1)$$

ان القيمة المثالية للكفاءة الحرارية هي 74% للماكنة الحرارية التي تعمل بين درجة حرارة K300= T_h ودرجة حرارة T_L= 77K حيث ان الشغل يساوي $W = 769\ kj/kg - LN_2$ والذي

يعتبر كبير مقارنة مع بطاريات رصاص-حامض والتي تعطي 180 - 300 kj/kg وبهذا نحتـاج لـ ـ ـ 40% من الشغل الناتج لنقل نفس الحمولة باستخدام المحركات الكهربائية .

الباحثان Boese و Hencey (1972) قدموا منظومة تستخدم النتـروجين الـسائل LN_2 والهواء الجوي لتدوير محرك مربوط بمولد كهربائي حيـث ان الهـواء يـستخدم لتـسخين النتروجين.

الباحثان Manning و Scheider (1974) استخدموا دورة برايتون Brayton Cycle للحصول على الشغل من المحرك باستخدام النتروجين السائل LN_2 , حيث تم استخدام العديد من عمليات التمدد مع عمليات اعادة تسخين Reheat وسطية متبوعة بمرحلة غاز اخيرة.كما انهم استخدموا اله تمرر النتروجين البارد N_2 والهواء الساخن خلال حجم معين بشكل متناوب , حيث ان هذا الحجم يحتوي العديد من اسلاك الشد المربوط بالمكبس حيث تشد وتـسترخي خلال دورة حرارية لاستغلال اخر كمية من الطاقة في مائع الشغل بكفاءة عالية.

الباحث Oxley (1980) اقترح اسالة liquefaction وفصل الهواء في الدورة الحرارية المســـتخدمة في محركات الباصات حيث ان الاوكسجين O_2 يستخدم لزيادة كفاءة الاحتـراق والغازات المسالة يمكن غليانها بالتدوير حول درجة الحرارة الدنيا الاخيرة في ماكنة سـترلنج Striling Engine باستخدام الهليوم He كمائع شغل.

الباحثBoese(1981) استخدم النتروجين السائل LN_2 في منظومة التـوربين الغـازي Gas Turbine ,حيث ان الحرارة تضاف باستخدام مبادل حراري يكون المائع الساخن فيـه هو الهواء القادم من منظومة التكييف في مقطورة المـسافرين.كمـا ان منظومـة المـستقبل Receiver قد تم افتراضـــها في هذا البحث.

الباحث latter وزملائه (1982)صمموا منظومة لزيادة سرعة المحركات التي تـستخدم الوقود التقليدي (ديزل , بنزين , الوقود المسال LPG....الخ) وذلك بالاستفادة من حرارة الجو بعمليات اعادة تسخين النتروجين السائلLN_2 بالإضافة إلى الحـرارة القادمـة مـن غرفـة الاحتراق .الاحتراق في هذه الطريقة هو ان الهواء المسال يستخدم كمائع شغل اولاً في دورة رانكن قبل حقنه مع الوقود التقليدي الى محرك الاحتراق الداخلي .ان عملية الدمج هذه تمكـن المحرك من قطع مسافة اكثر بـ ـ 50% من كونه يستخدم كل مصدر وقود على حده.كما تم مناقشة الاستفادة من حرارة الاحتكاك القادمـة مـن المحـرك ومنظومـة الكـبح System Braking.

من الملاحظ ان في جميع البحوث السابقة اعلاه كانت عمليات التمدد كظيمة Adiabatic Expansion مع اعادة تسخين ولـم تـستخدم عمليـة التمـدد الايزوثيرميـه Isothermal Expansion مع ماكنة بارده كما في هذا البحث.

منظومة النتروجين السائل LN_2 System

الشكل (1) يمثل رسم توضيحي للمنظومة المستخدمة في هذا البحث . النتروجين السائل LN_2 مخزون في اسطوانة مخلخلة الضغط ثم يتم ضغطه بمضخه خاصة تضغط السائل الى ضغط حرج فائق Supercritical Pressure الى المنظومة ثم يمر بمبادل حراري يسمح لمائع الشغل للوصول الى درجة حرارة الجو بدون حصول الصقيع Frost . بعدها يمر النتروجين LN_2 بالمستقبل Receiver والذي يقلل من تذبذبات الضغط في المنظومة حسب متطلبات القدرة . كذلك توجد صمامات في منظومة الاسطوانة – مكبس Cylinder-Piston لتحكم بدخول وخروج النتروجين N_2 (Williams, 1997) و (Williams et. el., 1997). السائل المسخن يتم تدويره خلال منظومة الاسطوانة –مكبس ليتم ابقائها بدرجة حرارة قريبة من درجة حرارة الجو. كما ان السائل المسخن يمر بمبادل حراري ثاني ليوصل حرارة الجو الى المحرك. بعدها يتم الحصول على الحركة من خلال منظومة صندوق التروس المعروفة Gear Box ثم الى العجلات . بما ان النتروجين الخارج Exhaust N_2 قريب من درجة حرارة الجو , لذا يتم استخدامه لتسخين النتروجين السائل اولياً في مبادل حراري ليقلل التماس بين السائل البارد والجو.

التحليل النظري لمنظومة الاسطوانة –مكبس
Analytical Analysis for Cylinder-Piston System

التحليل الثرموديناميكي للمحرك الترددي سيتم شرحه ليتم التعرف على مختلف المتغيرات الخاصة بمحرك النتروجين السائل LN_2 وتأثيرها على استهلاك الوقود . النموذج النظري Theoretical Model للمبادل الحراري في هذا التحليل يستخدم لإيجاد تأثيرات الضغط ودرجة الحرارة الداخلين للمنظومة على الشغل الناتج من المكبس ,القطر Bore, الشوط Stroke بالاظافة الى سرعة المحرك الدورانية RPM(Caton and West, 1996). أسلوب المحاكاة Simulation Procedure سيتم تعميمه ليتم تفحص مدى كبير من إشكال رأس المكبس- اسطوانة Piston-Cylinder Head. معدل تدفق السائل المسخن وابعاد المبادل الحراري سيتم إيجادها لمختلف التغييرات بالإبعاد.

يتم تطبيق تحليل المنطقة الواحدة Single Zone المعتمد على الزمن على حجم التحكم الموضح **بالشكل (2)** على فرض ان محتويات الاسطوانة ثابتة الخواص وخاضعة لمعادلة الحالة State Equation للغاز المثالي. كذلك يتم فرض ان درجة حرارة الجدران الداخلية للاسطوانة ثابتة اما الشغل الناتج سيتم ايجاده من مخطط الضغط –حجم P-V diagram.

الحالة اللحظية لغاز النتروجين N_2 في حجم التحكم يتم ايجادها من قانون حفظ الطاقة .معادلة الطاقة Energy Equation لمحتويات الاسطوانة يمكن التعبير عنها كمايلي:

$$\frac{dP}{d\theta}=\frac{(\gamma-1)}{V}\left[\frac{dQ}{d\theta}-\frac{\gamma}{\gamma-1}P\frac{dV}{d\theta}+\frac{dm_i}{dt}h_i-\frac{dm_e}{dt}h_e\right] \quad (2)$$

ان حجم الاسطوانة يمكن الحصول علية من معادلات نظرية المكـائن الخاصـة ب Slider-Crank

(Hannah and Stephens, 1985) كمايلي :

$$V=V_h+V_c+\frac{\pi d^2 S}{8(1-\cos\theta+R-\sqrt{(R^2-\sin^2\theta)})} \quad (3)$$

انتقال الحرارة في منظومـة اسـطوانة –مكـبس Piston-Cylinder Heat Transfer

لغرض إيجاد العلاقة بين قطر الاسطوانة d, والشوط S ومعدل سرعة الدوران للمحرك الترددي N , يجب تخمين معدل انتقـال الحـرارة للنتـروجين N_2 خـلال عمليـة التمـدد Expansion. اغلبية البحوث السابقة تستخدم العلاقات التجريبيـة Emperical Equations لإيجاد معامل انتقال الحرارة والذي يتـاثر بانتقـال الحـرارة بالاشـعاع Radiation. فـي الدراسات الخاصة بايجاد الخسائر الحرارية من المحرك بدون احتراق تتم من خـلال انـشاء نموذج صغير للمحرك ثم إيجاد علاقة تجريبية. لهذه الأسباب في هذا البحث سيتم افتراض ان انتقال الحرارة خلال جدران الاسطوانة شبيه للتـسخين الاضـطرابي Turbulent Heating للغاز في انبوب كما يلي(Holman,1997):

$$Nu_d \sim Re_d^m Pr^n \quad \text{where} \quad \begin{array}{l} m=0.8 \ \text{for turbulent flow} \\ m=0.3 \ \text{for heating} \\ m=0.8 \ \text{for cooling} \end{array} \quad (4)$$

اعتمادية الموصليه الحرارية k واللزوجة μ للنتروجين N_2 على درجة الحرارة T في المدى (200-300K) يتم ايجادها من خلال تفحص جداول البيانات الثرموديناميكية والتي تعطـي مايلي:

$$k \sim T^{0.85} \quad , \quad \mu \sim T^{0.76} \quad (5)$$

على فرض ان سرعة الغازات تتناسب مع معدل سرعة المكبس U_P مما يعطي علاقة لمعامل انتقال الحرارة h_x كمايلي

$$h_x=(0.1129)\,d^{0.2}P^{0.8}U_P^{0.8}T^{0.594} \quad (6)$$

حيث ان الثوابت في المعادلة اعلاه تم ايجادها باستخدام طريقة Least Square لمعاملات انتقال الحرارة العملية الموجودة في المصدر (Prasad and Samira, 1970). ان تاثيرات شوط المكبس S وسرعة الدوران N هي اصلاً مضمنه بعلاقة سرعة المكبس U_P. هذا التقريب لايخمن انتقال الحرارة فقط , بل يمكننا من معرفة تأثر الاداء مع مختلف المتغييرات اعلاه .

ان معدل انتقال الحرارة الداخلة الى الغاز يتم ايجادها بفرض ان علاقة h_x تطبق على السطوح في شوط التمدد وان درجة حرارة الجدار T_W ثابتة خلال الدورة . لذلك فان انتقال الحرارة يعبر عنه كمايلي:

$$\frac{dQ}{dt} = h_x A_W (T_W - T) \tag{7}$$

إن المساحة السطحية الكلية للجدار A_W عند أي درجة حرارة للكرنك هي :

$$A_W = A_P + A_h + A_c + \frac{\pi dS}{2(1 - \cos\theta + R - \sqrt{R^2 - \sin^2\theta})} \tag{8}$$

خسائر احتكاك المكبس مع الحلقات Piston –Rings Friction

ان خسائر الشغل نتيجة لاحتكاك الحلقات Rings سيتم حسابه لأنه يتأثر بشكل كبير مع نسبة طول الى قطر الاسطوانة Aspect Ratio. يمكن تخيل ان ضغط الغاز يحاول ان يمدد الحلقات باتجاه جدران الاسطوانه لذا يجب استخدام قيمة ثابتة لمعامل الاحتكاك الانزلاقي بدون وجود مائع (Taylor, 1993) μ_r. لذلك فان الشغل التفاضلي للاحتكاك δW_f على حلقات الضغط يمكن التعبير عنه كمايلي:

$$\delta W_f = \mu_r P \pi \, dt_r \, \delta S \tag{9}$$

هذا التعبير يتم تكامله على دورة كاملة للمحرك لحساب خسائر الشغل على الاحتكاك والذي يطرح من الشغل الناتج من الدورة . هذه الطاقة تشتت الى جدران الاسطوانة وحلقات المكبس أما تأثيرها على انتقال الحرارة سيهمل خلال هذه اللحظة dt.

منظومة المسخن Warmant System

ان المائع المستخدم في دورة المسخن هو مزيج غير قابل للانجماد من الماء والاثيلين – گلايكولEthylene Glycol-. تستخدم هذه المنظومة مشتت حرارة عادي كما في اغلبية السياراتAutombile Radiator ومضخة ماء لانها متوفره بكثرة على فرض ان كفاءة مضخة الماء الميكانيكية هي 90% . أن انتقال الحرارة الى الجو يحدث عند أي فرق في درجات الحرارة بين الماء والجو على خلاف اغلبية السيارات والتي تحتاج الى فرق كبير

بدرجات الحرارة. اي ان كمية الحرارة الداخلة للدورة تكون اقل مـن الحـرارة المطـرودة Rejected Heat من محركات اغلبية السيارات التي تعمـل بـالوقود المحـروق -Fuel . Burning Engineان تسخين المائع المسخن من الجو في المبادل الحراري يتم حكمه بمعادلة الجريان المضطرب خلال انبوب (معادلة(٤)) . اما معامل الاحتكاك f يتم ايجاده من تناضـر رينولدز Reynold's analogy (Holman,1997).

$$f/8 = St.Pr^{2/3} \qquad (10)$$

معامل انتقال الحرارة بالحمل للمائع المسخن حول الاسطوانة هو علاقة انتقال الحرارة لجريان متقاطع حول اسطوانة Cross-Flow (Holman, 1997)

$$Nu_d = (0.35 + 0.56\, Re_d^{0.52})\, Pr^{0.3} \qquad (11)$$

أما معامل انتقال الحرارة على سطح الاسطوانة Cylinder-Head هو علاقة انتقال الحرارة على صفيحة مستوية Flat-Plate (Holman,1997).

$$Nu_d = 0.332\ Re_d^{1/2}\ Pr^{1/3} \qquad (12)$$

أية موازنة للطاقة لاي تغيير بدرجة الحرارة يوجد من خلالـه معـدل الجريـان m للمـائع المسخن Warmant Fluid لتجهيز الاسطوانة بالفيض الحراري من جدران الاسطوانة خلال شوط التمدد.

أسلوب التحليل Analytical Procedure

١. تكامل المعادلة (2) باستخدام طريقة رانج-كتا Rang-Kutta من المرتبة الرابعـة . ثم ايجاد مخطط الضغط –حجم P-V diagram لزاوية كرنك من ($0\text{-}180^0$) للدورة.

٢. تنفذ المعادلة (6) لإيجاد تأثيرات ضغط ودرجة حرارة الغاز علـى معامـل انتقـال الحرارة خلال شوط التمدد Expansion Stroke .

٣. حساب خسائر الاحتكاك من المعادلة (9) وخسائر المـضخة مباشـرة مـن الكفـاءة الميكانيكية لها.

٤. تحديد ضغط الدخول للاسطوانة injection pressure بقيمة معينة ثم ايجاد الحجـم الابتدائي initial volume قبل بداية شوط التمدد من المعادلتين.

$$\frac{P_2}{P_i} = \left(\frac{V_i}{V_2}\right)^{\gamma} = \left(\frac{T_2}{T_i}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \qquad \text{(adiabatic)}$$

$$P_i V_i = P_2 V_2 \qquad \text{(isothermal)}$$

اذا كان الحجم الابتدائي V_i اقل من $(V_c + V_h)$ حينذاك يتم فرض ان الغـاز يملـئ هـذين الحجمين وان شوط التمدد Expansion Stroke يبدأ من النقطة الميتة العليا TDC.

النتائج والمناقشة Results and Discussion

من المهم دراسة تاثيرنسبة قطر الاسطوانة الى الشوط (d/S) والسرعة الدورانية N على نسبة الشغل الايزوثيرميه Isothermal Work (W/W_i). ان نسبة الشغل الايزوثيرميه لمجموعة محركات لها اسطوانة قطرها 1cm تعمل بضغط حقن بالمدى 1-30MPa مع ضغط خروج $P_{ex} = 0.11MPa$ ودرجة حرارة290K موضح **بالشكل (3)** حيث تم استخدام سرعة المحرك N ونسبة قطر الاسطوانة الى الشوط (d/S) كمتغيير. من الملاحظ من الشكل (3) ,عندما تكون لدينا اشواط طويلة وسرعة محرك قليلة فان ذلك يزيد من انتقال الحرارة خلال عملية التمدد Expansion Process.

توجد حالة $d = 10\,cm$ و $d/S = 1/4$ في الشكل (3) ايضاً , حيث ان هذه الحالة توضح قلة الشغل الناتج من الدورة نتيجة لزيادة قطر الاسطوانة bore . الحسابات اعلاه تبين ان قطر صغير وسرعة قليلة هي من شروط الحصول على دورة ايزوثيرمية Cycle Isothermal .ان الحسابات اعلاه لمحرك ذو اسطوانة واحدة لذلك يمكن مضاعفة الشغل الناتج بزيادة عدد الاسطوانات حسب القدرة اللازمة كما في محركات السيارات .

درجة الحرارة والشغل النوعي كداله من زاوية عمود المرفق θ لمحرك قطر مكبسة 1cm وطول شوطه S=10cm يعمل بسرعة N=1000RPM وبظروف ايزوثيرمية وكظيمة Adiabatic موضح **بالشكل (40)** . نلاحظ من الشكل (4) ان الدرجات 120 و 130 تمثل بداية عملية التمدد Expansion Stroke.من الملاحظ ان خسائر الشغل تبدا بالزيادة من الزاوية 60^0 في الحالة الكظيمة .خلال هذه المرحلة من التمدد يتم الحصول على اكبر كمية من الشغل الناتج والذي يولد الحاجة الى اكبر كمية من الحرارة الداخلة لتحقيق الاداء الايزوثيرمي Isothermal Performance.

ان الفرق في درجة الحرارة بين الجدار والغاز ابتدائياً يساوي صفر خلال عملية الحقن Injection في الدورة ثم يزداد عندما ينجز النظام شغل على المكبس كما موضح **بالشكل (5)** . ان معامل انتقال الحرارة h_x يهبط بسرعة مع انخفاض الضغط حتى لو زادت سرعة المكبس U_P وقلة درجة حرارة الغاز . هذا السلوك يشجع على تصميم منظومة اسطوانة مكبس بدورة ايزوثيرمية لها اقل فرق بين درجة حرارة الجدار والغاز مع زيادة معامل انتقال الحرارة والمساحة المبتلة Wetted Area خلال غرفة التمدد Expansion chamber.

لغرض معرفة الفوائد من زيادة معامل انتقال الحرارة فان المحاكاة Simulation لمنحني التمدد الكظيم Adiabatic يبدل بحالة $h_x = Const$ ولايقل خلال شوط التمدد . نلاحظ الشغل النوعي Specific work الناتج ودرجة الحرارة خلال النصف الاول من شوط التمدد في

الشكل (6). ان منحنيات الشغل ودرجة الحرارة تكون قريبة من الحالة المثالية . هذه النتـائج تقابل زيادة h_x بمقدار عشرة اضعاف خلال شوط التمدد خلال 60° الأولى للكرنك.

ان نسبة الشغل الايزوثيرمي (W/Wi=0.85) تحت هذه الظروف مقارنة مع حالة معامل انتقال الحرارة المتغير (W/Wi=0.65) .وهذا يدل على ان الدورة قريبة من شـوط التمـدد الايزوثيرمي ,أي ان التمدد يجب ان يكون ايزوثيرمي للحصول على الحالة المثاليـة للـشغل ودرجة الحرارة .ممكن زيادة معامل انتقال الحرارة h_x من خـلال جعـل عمليـة الحقـن مضطربة مع دوامات . اما لزيادة انتقال الحرارة Heat Transfer ممكن زيـادة المـساحة السطحية لراس المكبس كوضع زعانف مثلاً Fins.

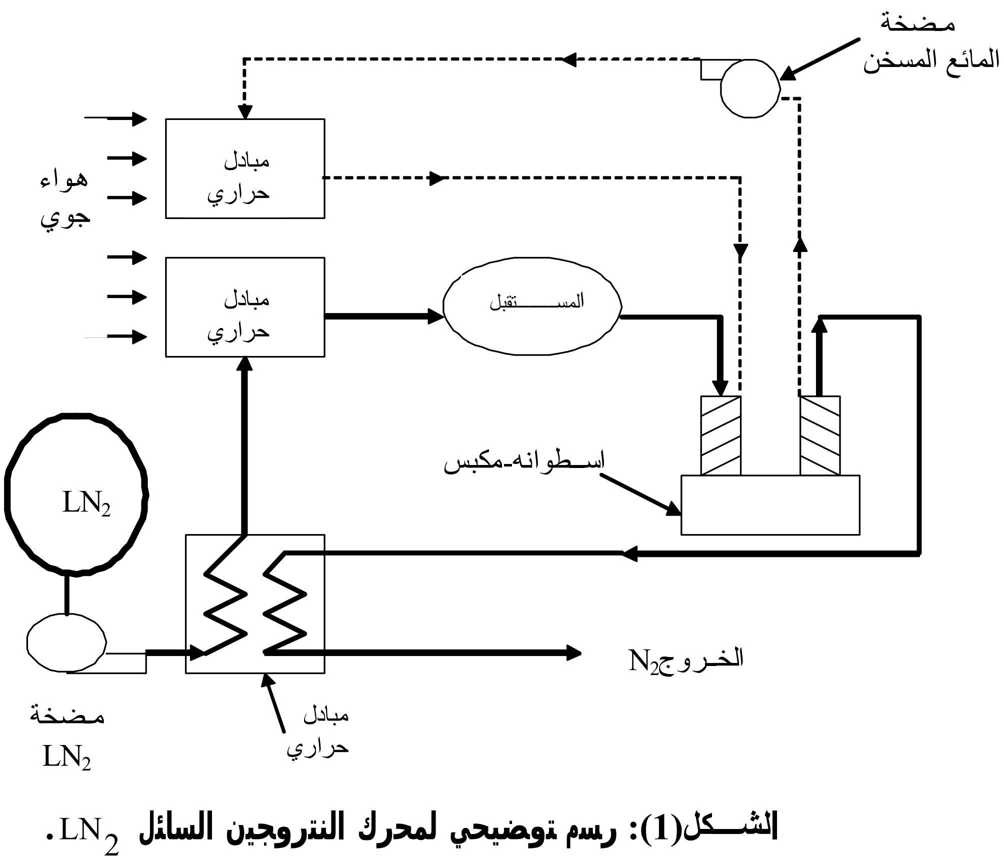
يمكن مقارنة بعض نتائج الأداء للمحرك البارد المصمم في هذا البحث مع محركات شركة هوندا Honda CRX) (Reynolds,1992) حيث ان القدرة اللازمة لتحريك السيارة بسرعة 97 km/hrكانت 7.8 kW. حيث ان هذه القدرة يمكن الحصول عليها من محرك النتـروجين السائل باستخدام اسطوانة واحدة عنـدما تعمـل بـسرعة RPM850 وضـغط حقـن 6 MPaودرجة حرارة حقن 290K في جو درجة حرارته 300K والحرارة الداخلـة للـدورة تساوي 11 kW تقريباً. اما اكبر كمية حرارة منتقلة بواسطة المائع المـسخن هـي 22kW والتـي تبـين ان معـدل جريـان الكتلـة لـه هـو (*water / ethylene – glycol* mixture) 1.1kg/sلهبوط بدرجة حرارة مقداره 5K . اما في الظروف التشغيلية خلال السرعة للسيارة فان المنظومة تحرر طاقة مقدارها 245kg/kg - LN_2 والتي تجعله ينافس أحـسن بطاريـات الحامض – رصاص المستخدمة حالياً.

الاستنتاجات Conclusions

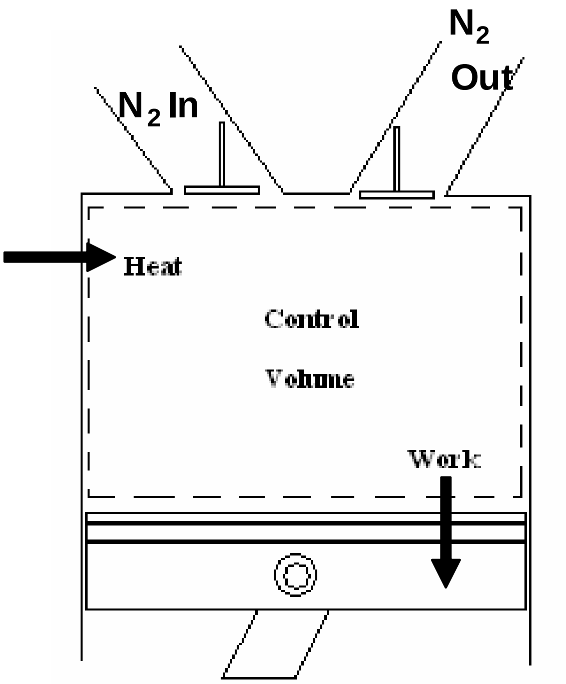
١. تم ايجاد واثبات الاسلوب الصحيح لتصميم وحساب اداء محرك بارد وعديم التلـوث في هذا البحث حيث إن العادم هو هواء فقط .
٢. ان قطر صغير للاسطوانة وسرعة قليلة للمحرك هي من اهم الشروط للحصول على دورة ايزوثيرمية يتم الحصول بها على اكبر شغل.
٣. اثبتت حسابات انتقال الحرارة ان 85% من الأداء الايزوثيرمي المثالي قد تم خـلال المحرك الترددي الذي يعمل باستخدام النتروجين السائل LN_2.
٤. في حالة كون المحرك ذو اسطوانتين يعمل بضغط حقن مقـداره 6Mpa وبـسرعة RPM850 سوف ينتج قدرة مقدارها 15KW وعـزم مقـداره 190N.M. وهـذه البيانات تمكن السيارة من المسير140 km باستخدام 200 لتر من النتروجين الـسائل بدون ملوثات للبيئة .

References المصادر

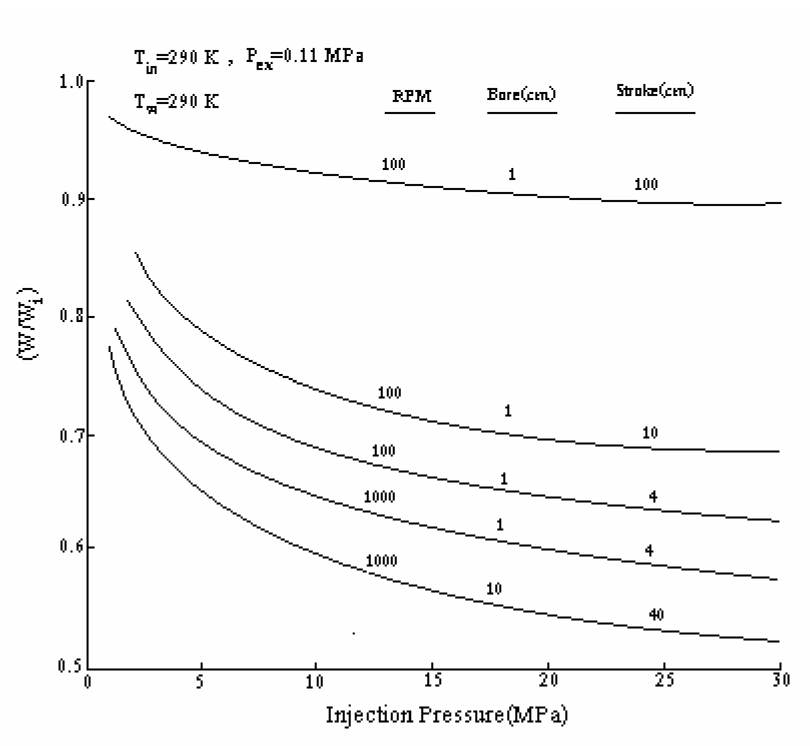
1. Boese , H.L., and Hencey Jr.,T.R.1972,"Non–Pollution Motors Including Cryogenic Fluid as the Motive Means, " Patent No.3,681,609 Aug. 1.
2. Boese , H.L., 1981,"Crygenic Powered Vehicle," Patent No.4, 294, 323, OCT 13. Hannah, J. and Stephens, R. C., 1985,"Mechanics of machines: elementary theory and examples", 4th ed., Edward Arnold.
3. Holman , J.P.,1997, "Heat transfer "7th Ed., Mc Grew–Hill pub.
4. Latter , A.L., Dooley, J.L., and Hammond, R.P., 1982,"Engine System Using Liquid Air and Combustible fuel," Patent No.4, 359, 118, NOV. 16.
5. Manning , L.,and Schneider ,R.N. 1974, "Nitrogen Vapor Engine," Patent No. 3,786,631 Jan . 22.
6. Oxley, A.J., 1980, "Methods and Means for Storing Energy," Patent No.4, 227, 374, OCT. 14.
7. Parsad , R. and Samira, N.K., 1970, "Investigation of Heat Transfer in Piston with and without Ceramic Insulation on Crown Face", IE (I) ,J.-CH,vol.70, June.
8. Reynolds , K., 1992, "Ac Propulsion CRX Harbinger of Things to Come," Road and Track, OCT.
9. Taylor, C. M., 1993, "Engine Tribology," Elassvier Science Pub.
10. West ,C.W. , Lee , L.E., and Norris, A.O.1978, "Vehicle Utilizing Cryogen Fuel," Patent No. 4,106,581,Aug . 15 .



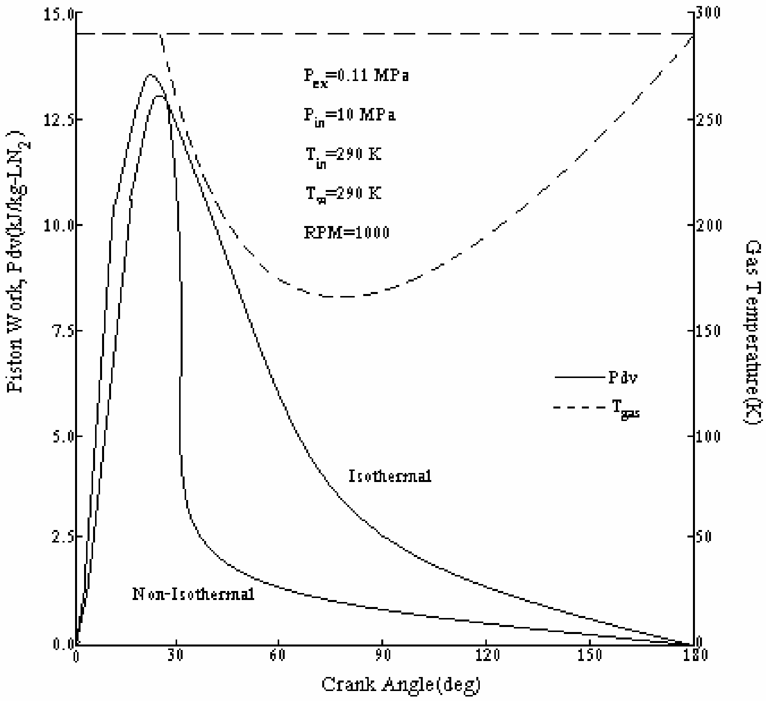
الشكل(1): رسم توضيحي لمحرك النتروجين السائل LN_2.



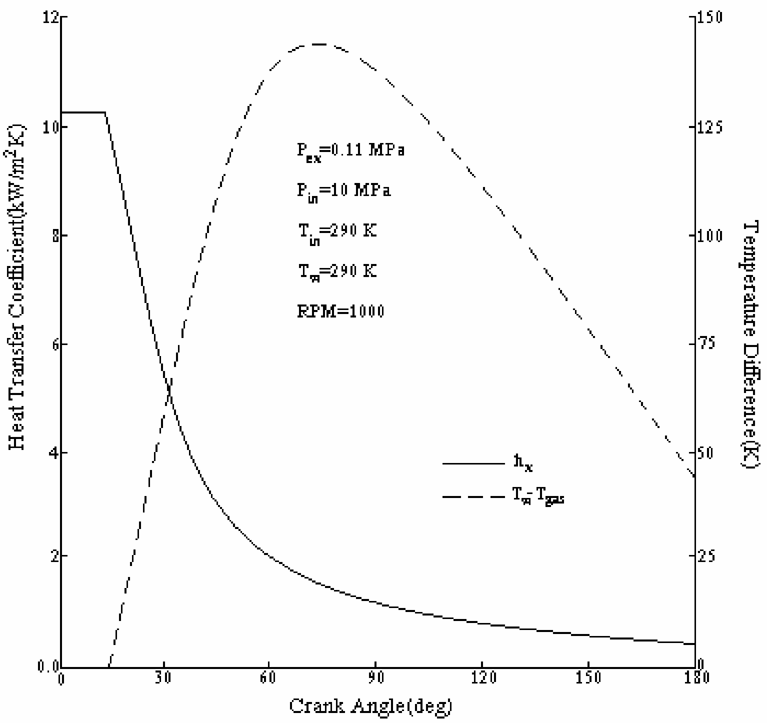
الشكل(2): حجم التحكم C.V المستخدم لتحليل عملية التمدد.



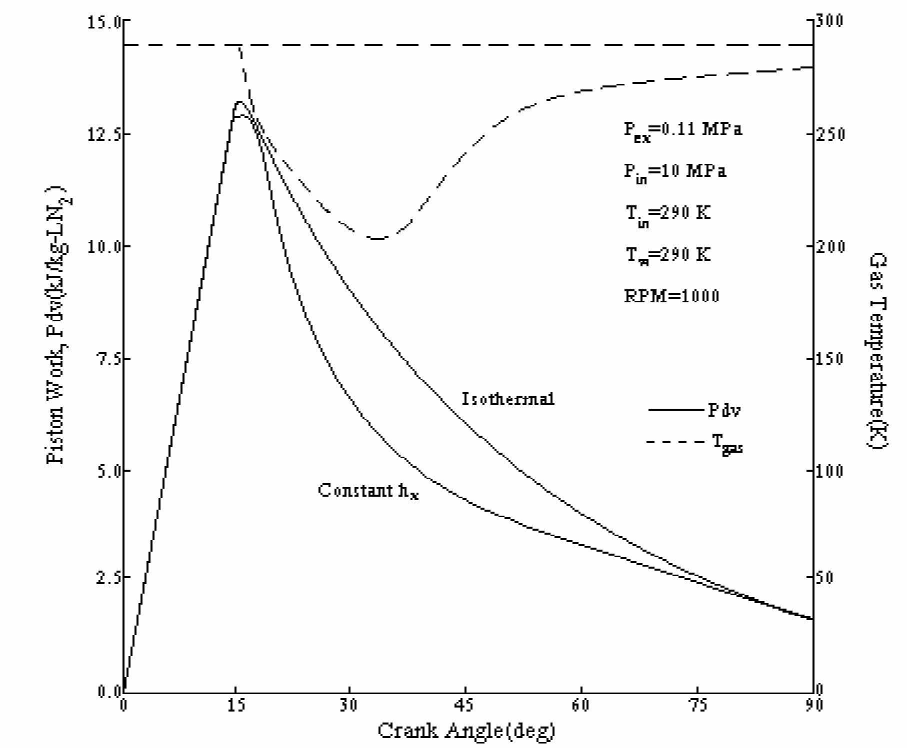
الشـــكل(3): تأثير حجم وسرعة المحرك على نسبة الشغل الايزوثيرمية التمدد لمعدلات انتقال حراره محدده.



الشكل(4): الشغل اللحظي الناتج و درجة حرارة الغاز كداله من زاوية عمود المرفق لعملية التمدد(قطر المكبس=1cm وطول الشوط 10cm).



الشكل(5): معامل انتقال الحراره وفرق درجات الحرارة بين الغاز والجدار كداله من زاوية عمود المرفق.



الشكل(6): الشغل اللحظي الناتج ودرجة حرارة الغاز كدالة من زاوية عمود المرفق لعملية التمدد عندما يكون h_x= Const. (قطر المكبس = 1cm وطول الشوط = 10cm).