

SPACE PROPULSION

2008. 5. 19

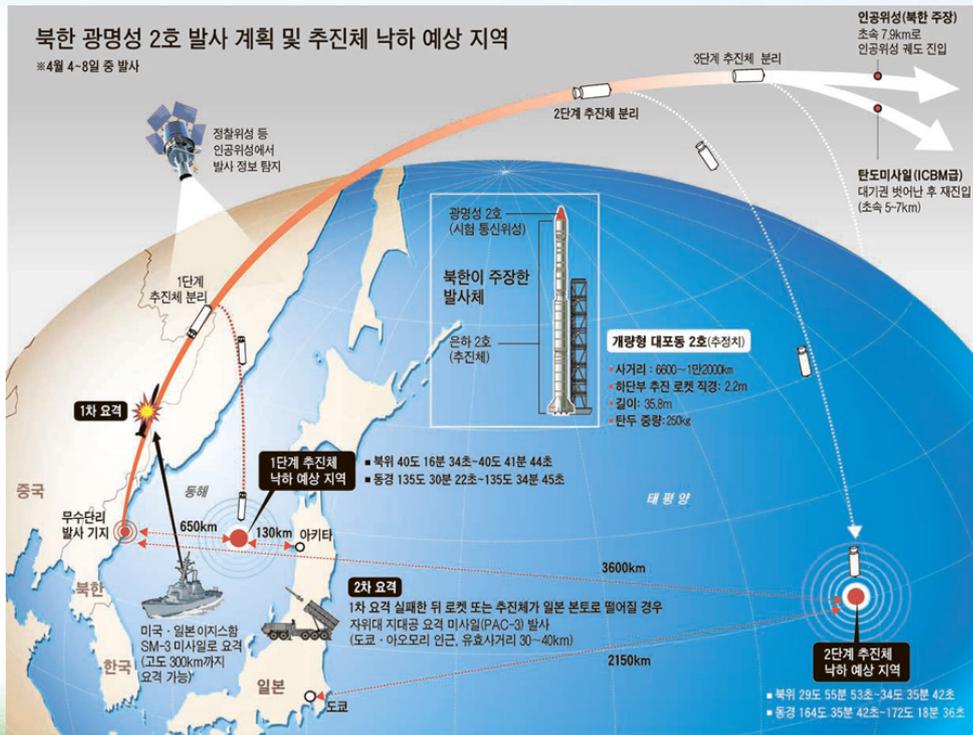
서울대학교 익스트림 에너지 연구실

강사: 여재익

발표순서

- 우주 추진 (로켓 공학)
 - 로켓 원리, 종류, 추진제, 다단 로켓
- 인공위성 발사체 와 미사일
- 미래 추진 기술 - 레이저 추진
- 레이저 에너지 응용 기술
 - 피부미용기술의 도약
 - 커피 및 향료 가공 기술

대포동 우주발사체? 탄도 미사일?



❖ 로켓의 연료와 산화제

- 액체 연료 + 액체 산화제
- 고체 연료 + 고체 산화제
- 추력 장치의 연소를 유지하기 위한 산소와 대기가 없는 우주로 비행체를 올릴 수 있음
- 독일의 폰 브라운 박사에 의해 개발되어 세계 2차 대전의 미사일에 사용되다가 패전 이후 독일의 기술자들이 구 소련과 미국으로 흘러 들어가 우주 개발의 핵심 인력이 되기도 하였다
- 현재 미국, 러시아 및 유럽우주기구를 포함한 16개국의 국제협력 프로그램으로 국제우주정거장 (ISS)를 건설하고 있다

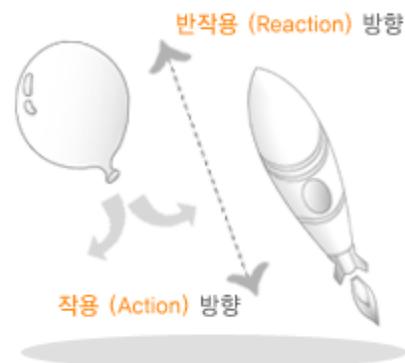
우주 추진 원리

- ❖ 고압에서 분출되는 가스는 자신이 뒤로 나가는 동일한 힘으로 로켓을 밀어낸다.
- ❖ 이 원리는 뉴턴의 역학 법칙 중 세 번째 법칙인 작용·반작용의 법칙을 이용한 것으로써 모든 작용하는 힘에는 같은 크기의 힘이 반대 방향으로 작용한다는 원리이다.
- ❖ 로켓의 추진시스템은 외부의 공기가 필요하지 않을 뿐만 아니라 자체 내에 추진제를 저장하였기 때문에 비행속도나 제트의 속도에 관계없이 작용·반작용의 법칙에 의해 가속된다.

고체 로켓과 액체 로켓의 차이

- ❖ 고체연료는 화약과 산소를 적당한 비율로 섞어 놓은 것. 고체로켓은 큰 힘을 내지만 한번 타기 시작하면 끌 수 없다. 반면 구조가 간단하여 가격이 싼 이점이 있다.
- ❖ 액체연료는 연료와 산소가 액체 상태로 분리되어 저장되며 이를 섞어 연소시키는 방식입니다. 안전하며 제어 가능
- ❖ 로켓의 바닥에 있는 분사노즐은 연소실에서 얻어진 고온, 고압 가스의 분사속도를 증대시키며, 로켓의 방향을 조절함.

▶ 작용과 반작용의 원리

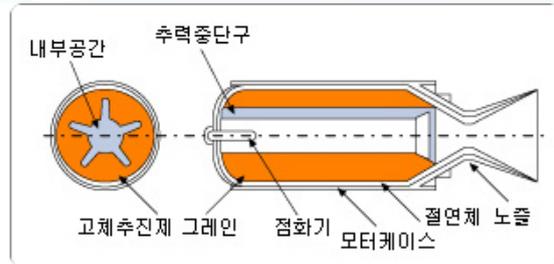


$$F = \text{Mass} \times \text{acceleration}$$

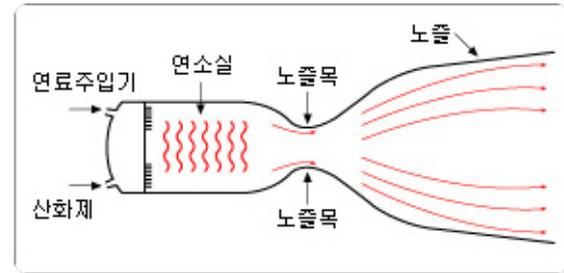
$$F = \dot{m} \times V_e + (P_e - P_a) \times A_e$$

분사되는 질량을, 연소가스분출속도
노즐출구압, 대기압, 노즐출구면적

❖ Solid Rocket Motor (SRM)



❖ Liquid Rocket Engine (LRE)



화학 추진시스템의 성능 비교

로켓의 비추력: 1초에 1키로의 추진제를 소모함으로써 얼마나 많은 추력을 얻어낼 수 있는가를 나타낸다

$$I_{sp} = \frac{F}{\dot{m} \times g}$$

액체 추진제의 역할 구분

- ❖ 연료와 산화제는 별도의 탱크에 저장되어 파이프, 밸브 및 터보펌프 등을 통하여 연소실에 전달 - 설계의 복잡성
- ❖ 탄화수소, 극저온 및 자동연소성 연료 사용 - 장시간 충전 되 있을 수 없다
- ❖ 액화산소는 산화제로 사용됨
- ❖ **Cryogenic propellant (수소/산소)**
- ❖ **Generic (탄화수소(Kerosene, RP-1))**
- ❖ **Hypergolic (Hydrazine, UDMH, MMH)**
- ❖ **Common 산화제 (Nitrogen tetroxide, Nitric Acid)**

고체 추진제의 역할 구분

- ❖ 가장 간단한 형태
- ❖ 연료와 산화제 (**20/80**정도의 비율)가 예혼합 된 추진제가 연소관 내에서 점화되며 추력을 얻음
- ❖ 추적이 불가능한 배기가스 배출 - 전략무기용
- ❖ 단분리에도 활용
- ❖ **Ammonium Perchlorate** 산화제: 잘게 부서진 광물성 소금과 폴리우레탄 과 같은 폴리머 바인더 (연료)와 혼합됨 - 고무 지우개 와 같은 느낌
- ❖ 용도 - 발사체 최종 단계 및 탑재체의 추가 추력을 위해 부착됨 - 위성의 정지궤도나 행성궤도에 올릴 수 있는 추가적인 추력 제공.
- ❖ **NASA Shuttle** 과 같이 1단 부스터에도 사용됨

다단 로켓을 사용하는 이유

- ❖ 로켓의 속도 증가를 위하여 다단 로켓 사용
- ❖ 다 쓰고 난 연료통을 낙하 시키고 비행하면 에너지 낭비를 줄이고 추력을 향상시켜 고 궤도 진입에 단 분리는 피수요 건이다



로켓의 방향 제어 방법

- ❖ TVC (Thrust Vector Control)와 같은 가스방향제어장치 사용 - 노즐부의 움직임을 통한 방향제어
- ❖ 제트 핀 사용 - 노즐 내에 있는 핀 사용 - 노즐 고정
- ❖ 보조 소형 엔진 - 소형 엔진을 보조고 달아 연소가스를 분출하여 방향 제어
- ❖ 로켓 날개
- ❖ 보조 주입방식 - 노즐에 가스를 주입하여 연소가스의 분출 방향을 바꾸는 방법

인공위성 발사체

- ❖ 저궤도 – **500** 에서 **1500 km** 사이에 있는 궤도이며 **90분** 에서 **2시간**의 짧은 주기를 갖는 궤도이다. 지구관측 위성과 위성 이동통신 시스템이 이용된다.
- ❖ 정지궤도 – 고도 **35,786 km**로서 궤도 경사각이 **0도**인 적도면의 원형 궤도 이다. 공전 주기는 **23시간 56분 4초**로서 지구의 자전주기와 동일함. 전파를 송/수신하기 위한 안테나를 움직일 필요 없음. 통신, 방송, 기상 위성 궤도로 활용
- ❖ 고도 **100km** 이하에서 공기저항이 가장 심각하여 지구 재진입 기술이 요구된다

위성 발사체? 대륙간 탄도 미사일?

- ❖ 탑재체(원자핵이나 화학무기 혹은 위성)
- ❖ 비행 경로
- ❖ 역사적으로 발사체는 탄도 미사일로 부터 출발
- ❖ 대기권 재진입시 강력한 응력을 견디도록 설계됨
- ❖ 탑재체의 궤도 주입:
 - 미사일보다 높은 속도로 작동
 - 고성능 **3단** 로켓이 필수
 - 궤도 진입용 킥 모터를 활용

레이저 추진 기술 소개

■ 레이저 추진이란?

- 화학 로켓 추진을 대체할 수 있는 저비용 추진 기술
- 추력 발생 원리 : 레이저 조사 시 발생하는 플라즈마와 충격파로 인한 비행체 전·후의 압력 구배로 추력 면에 높은 압력 전달
- 1972년 Kantrowitz(미국) : 최초로 레이저 추진의 가능성 제안
- 1997년 Myrabo(미국) : 10kW 레이저 빔으로 무게 51g, 직경 12.2cm의 비행선을 71m까지 추진시키는 데에 성공
- 현재 미국·일본·유럽 등 항공 선진국을 중심으로 활발한 연구 진행

레이저 추진 기술의 필요성

■ 소형 추력 발생 장치 개발의 필요성

- 마이크로·나노급 위성의 자세 제어 및 궤도 수정
- 저비용·저중량 추진 장치 개발

■ 새로운 에너지원으로써의 펄스 에너지 활용

- 고출력 레이저 개발에 따른 펄스 에너지의 용도 확대
- 레이저 무기 개발에 따른 고출력 소형 레이저 개발의 가능성

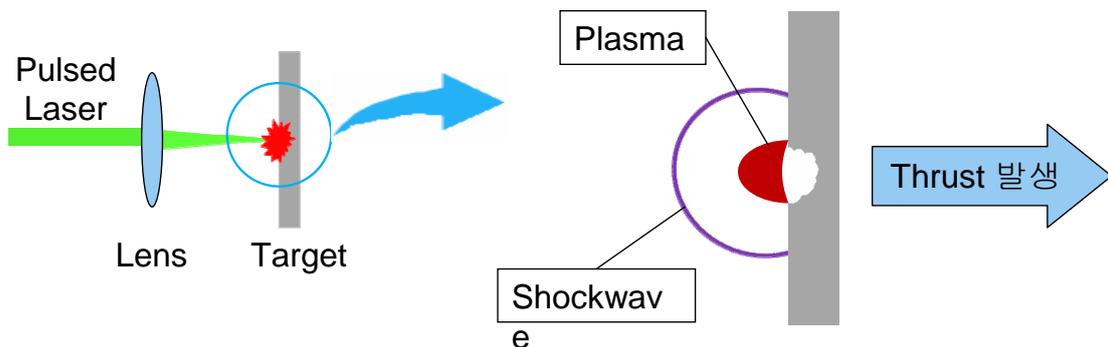
■ 레이저 추진의 이점

- 연료의 미탑재로 인한 경량화·비행 목적에 적합한 추력 제어 가능
- 최적 조건 규명으로 최소한의 에너지로 추력 극대화

레이저 추진 기술의 분류

- 공기흡입 레이저 추진
 - 공기 중에서 레이저에 의한 붕괴 현상 발생
 - 공기를 추진제로 사용 → 대기권 내에서 적용 가능
- 레이저 삭마(Laser Ablation)에 의한 추진
 - 시료의 일부 질량이 플라즈마 형태로 배출
- 액체시료의 분사에 의한 추진
 - 붕괴 현상으로 인하여 발생하는 액체의 분사 효과 이용
- 레이저 조사 시 발생하는 점화에 의한 추진

Laser ablation 에 의한 추력 발생 메커니즘

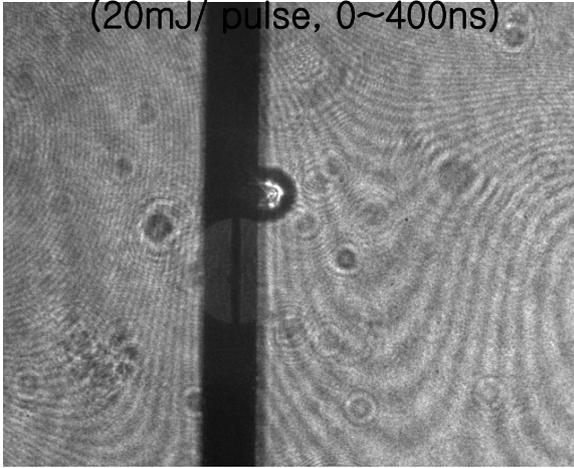


- Target 표면이 기화되어 vapor 발생
- 플라즈마 상태로 breakdown
- 전자, 중성자, 양이온의 운동 가속 • 충돌
- Shockwave 발생

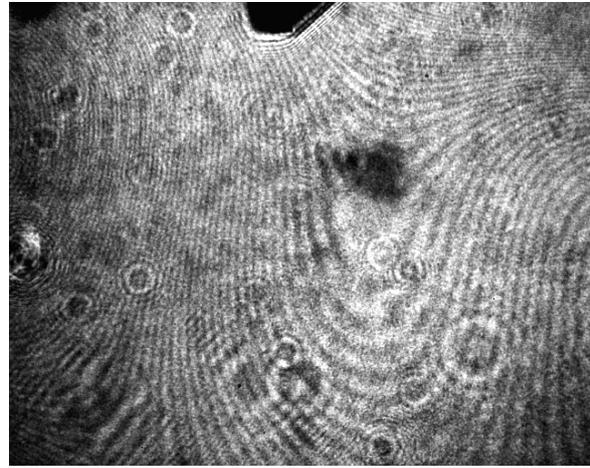
플라즈마 • Shockwave 발생 모습

Al foil 표면에서의
shockwave

(20mJ/ pulse, 0~400ns)



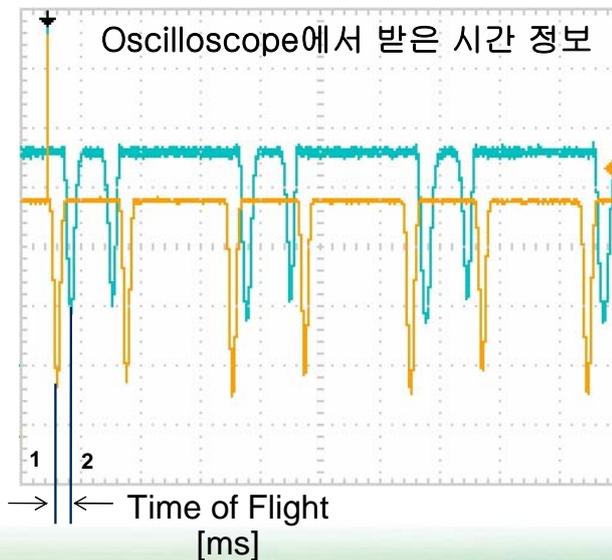
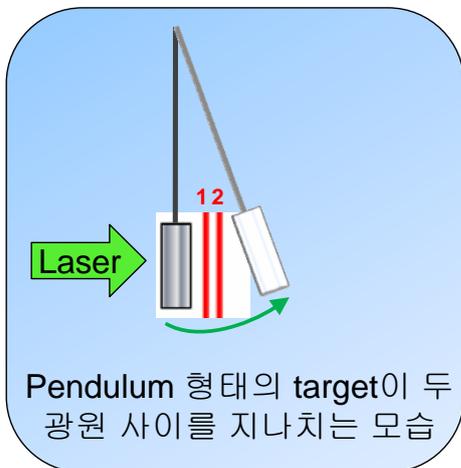
Air Breakdown
(90mJ/ pulse, 0~500ns)



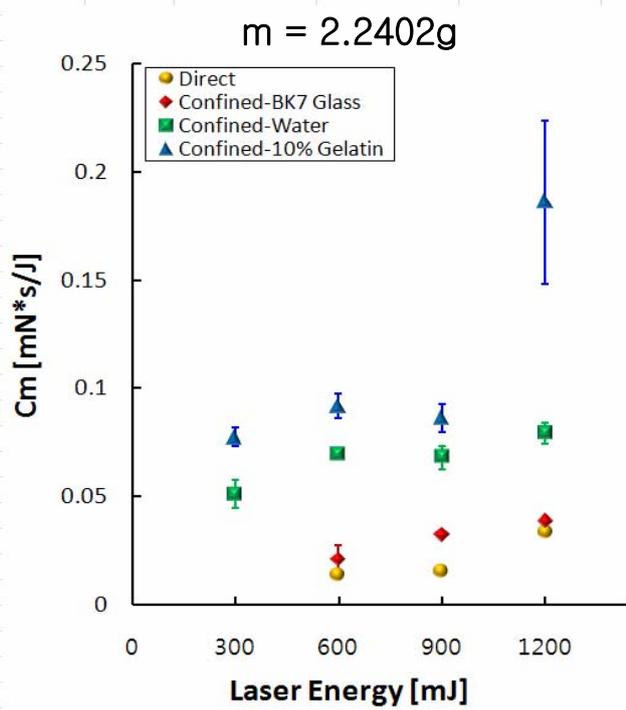
(Ref : H. Lee & J. Yoh, 2007 / A. Gojani & J. Yoh, 2008)

Time of Flight 측정 방법

- Time of Flight : Target이 검출기로 들어가는 두 광원 1,2의 사이를 지나치는 데에 소요되는 시간



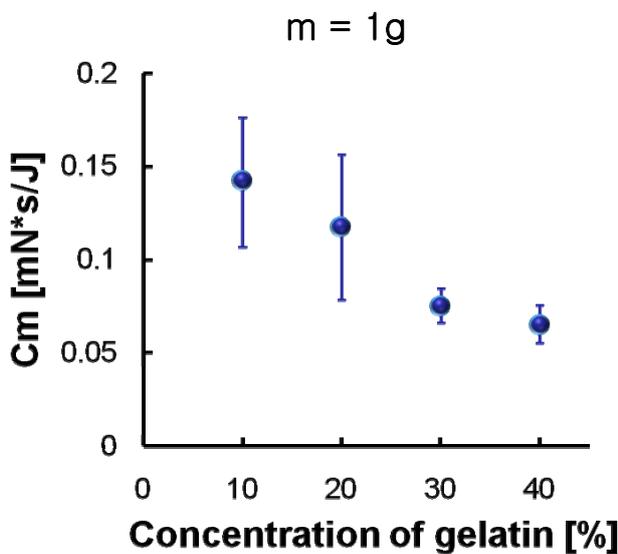
실험 결과 - Confinement Material



Momentum coupling coefficient의 평균값
[mN*s/J]

E [J]	Direct	BK7 Glass	Water	10% Gelatin
0.3	-	-	0.0509	0.0775
0.6	0.0143	0.0210	0.0693	0.0917
0.9	0.0158	0.0323	0.0680	0.0862
1.2	0.0335	0.0386	0.0791	0.1860

실험 결과 - Concentration

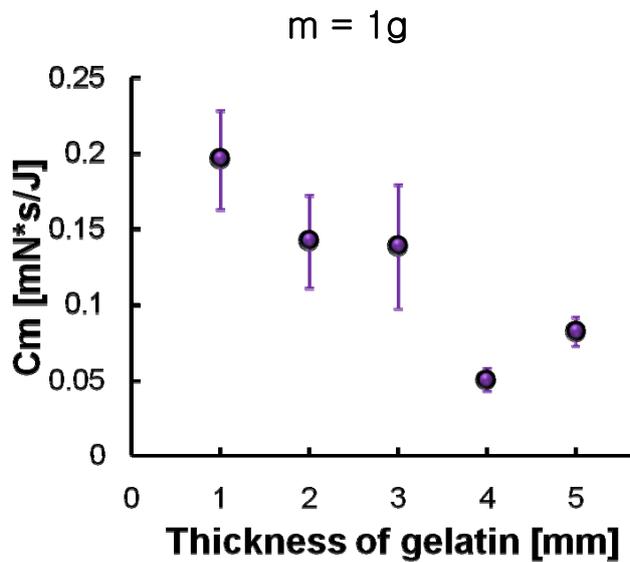


■ C_m 평균값 [mN*s/J]

10 %	20 %	30 %	40 %
0.1415	0.1173	0.0751	0.0652

- 농도 증가에 따라 C_m 감소
- Mass loss (per 50 pulses)
0.37 ± 0.02 % 로 거의 일정
∴ 농도 변화는 주로 confinement 효과에 영향을 미침

실험 결과 – Thickness of gelatin

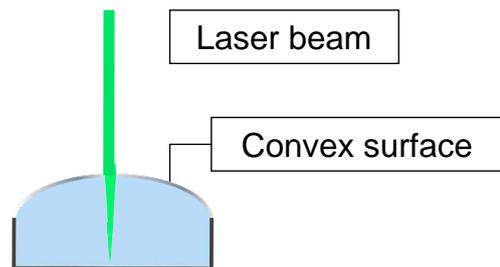


▪ C_m 평균값 [mN*s/J]

1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm
------	------	------	------	------

0.1954	0.1416	0.1383	0.0505	0.0822
--------	--------	--------	--------	--------

▪ 표면장력에 의한 효과



결론

- Confinement 물질에 따른 C_m 값 변화
 - Glass : Direct 와 비교하여 1.5~2배 증가
 - Water : Direct 의 2~4.8배, glass의 2배 정도 증가
 - 10% Gelatin : Direct 의 5.5~6.5배 증가
다른 두 물질과 비교할 때 가장 높은 C_m 값을 가짐
- 플라즈마 팽창의 제한을 위하여 젤 형태 물질 사용의
가능성 및 높은 C_m 값을 얻기 위한 최적 농도 존재 확인
- Confinement 물질의 두께에 대한 C_m 값 도출
 - 두께 변화에 따라 최대 4배의 추력 성능 향상
- 펄스 레이저 기반의 추력 발생 장치 구축의 가능성 시사

레이저 추진 응용

- 1) 피부미용 시술
- 2) 커피 및 향료 가공기술



피부미용시술용 약물 투여

- ❖ Bio-medical application of micro shock wave
 - In cosmetics and dermatology
 - Birth marks removal
 - Simple & Painless & Most effective



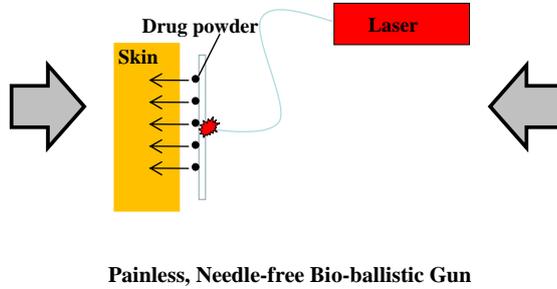
Biolistic Gun 연구

- Bio-ballistic process

: 마이크로 약물 입자를 역학적으로 가속시켜 인체의 환부에 투여



Painful injection with needle



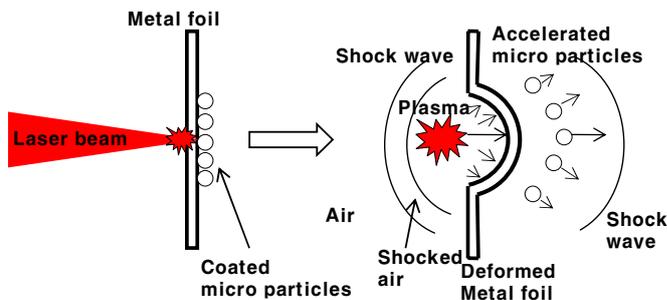
Painless, Needle-free Bio-ballistic Gun



Ballistics

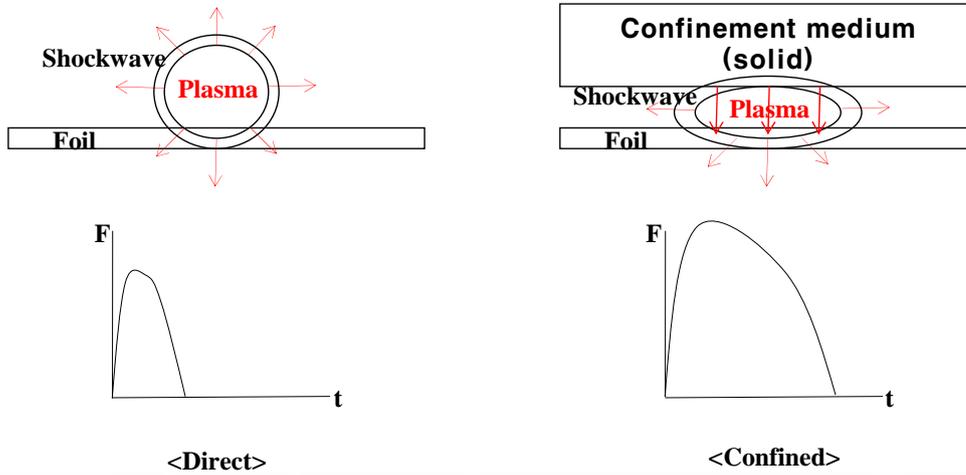
레이저를 이용한 입자 가속 원리

- 마이크로 약물 입자를 빠른 속도로 가속시켜 인체에 투여
- 레이저 에너지를 입자의 운동에너지로 변환
- 고출력 레이저 빔을 금속 호일의 한 점에 집중, 레이저 어블레이션 현상 발생
- 레이저 어블레이션 시 발생한 충격파에 의한 금속의 순간적인 변형(~4000m/s)
- 금속 호일 뒷면에 코팅되어있는 마이크로 입자의 가속



Confinement effect

- 어블레이션 현상 시 발생하는 플라즈마를 가동으로써 금속 호일에 전달되는 모멘텀을 증가시킴



29

❖ 약물입자 가속실험

- Laser energy: ~710mJ
- Spot diameter: 1.86cm
- Metal target: Aluminum
- Target thickness: 0.05mm
- Glass thickness: 3mm



Parametric study

Confinement effect

Energy : 1060-1080mJ

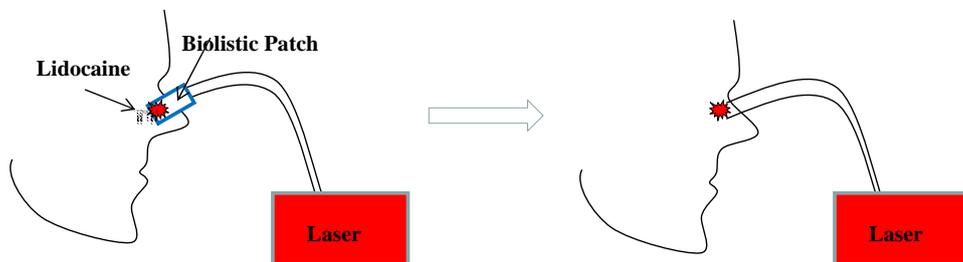
Confinement Medium	침투깊이(mm)	침투 폭(mm)	
Direct Injection	0.3	1.7	
BK7 glass	1.7	0.8	
Water(1.5mm)	2.9	3.1	
BK7 glass + Water	2.4	1.6	
초음파 젤(1.0mm)	1.7	2.3	
초음파 젤(1.5mm)	2.0	2.0	

31

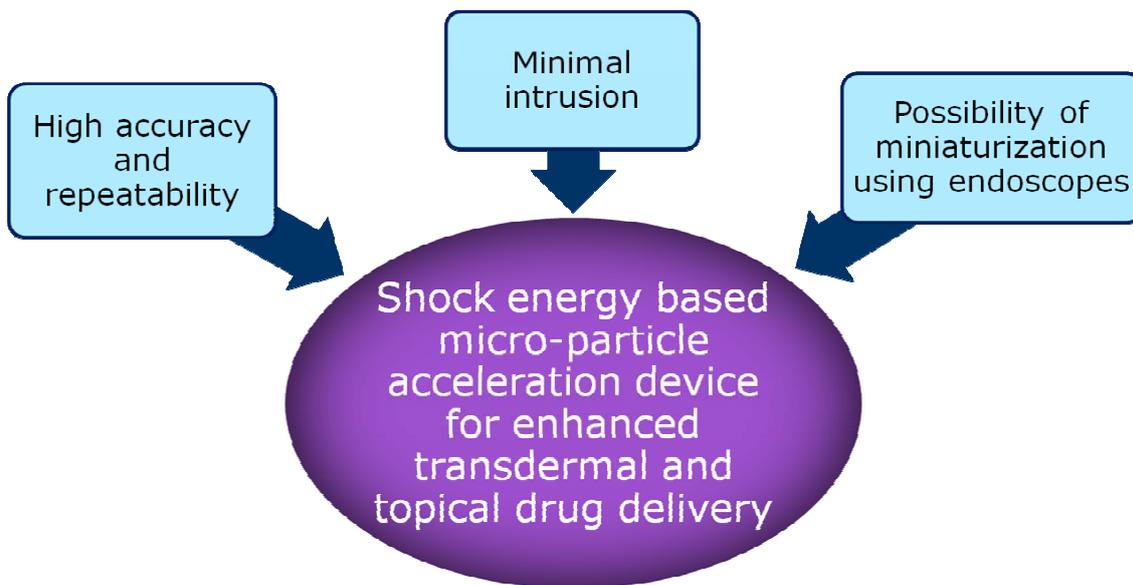
Biolistic Gun – Application

-리도케인으로의 적용:

피부와 시술에서의 마취시간을 획기적으로 단축
기존의 마취크림보다 훨씬 높은 마취효과



32



Local Anesthesia using biolistic gun

Lidocaine injection

A breakthrough procedure for removing birth marks!!!

- Lidocaine

- Empirical Formula : $C_{14}H_{22}N_2O$
- Formula Weight : 234.34
- Particle size is small enough to penetrate skin without pain
- Anesthetic drug used in dermal or dental operation

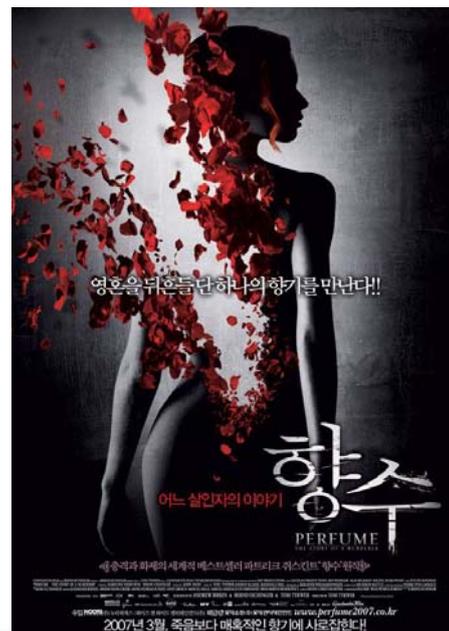
- Lidocaine with biolistic gun compared with existing methods

- Lidocaine is being used as an anesthetic drug in dermatology
- Much shorter operation time(10~20min. → **No waiting time to anesthetize**)
- More effective : less loss, long duration of effect
- Needleless injection with **no pain**
- Simple, simple, simple

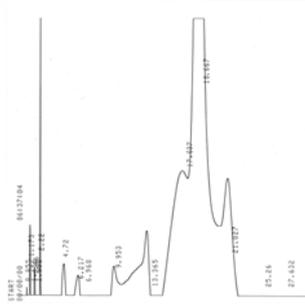
Coffee beans...



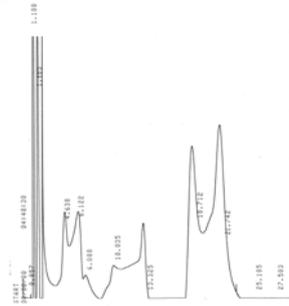
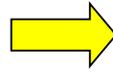
Cosmetics...



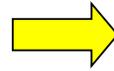
맥심봉지커피 → 스타벅스커피



Gas chromatogram of original coffee



Gas chromatogram of shocked coffee



-감사합니다-