

구속 링을 이용한 관 결합 공정의 응력해석

양영수*, 배강열**,#

*전남대학교 기계공학과, **경남과학기술대학교 메카트로닉스공학과

Stress Analysis of Pipe Connection Process Using Clamping Ring

Young-Soo Yang*, Kang-Yul Bae**,#

*Department of Mechanical Engineering, CN UNIV., **Department of Mechatronics Engineering, GJUST

(Received 27 February 2017; received in revised form 21 March 2017; accepted 27 March 2017)

ABSTRACT

The pipe connection process using a clamping ring is used for joining small pipes in the refrigerator and air-conditioner industries instead of the brazing process, which induces inevitable thermal deformation in the pipes. However, few studies have been carried out on the process to select optimal parameters in joining pipes, and studies on the relation between the process parameters of the connection and connecting force of the joint have not been conducted. In this study, the connection process of pipes with the clamping ring was modeled using the finite element method (FEM) and analyzed to obtain the contact stress distribution between the pipes with which the connecting force of the joint was estimated. Considering the characteristics of pipe connection, the process was modeled and simulated in a two-dimensional axisymmetric solution domain. With the numerical model, the effect of ring shape on the connection was studied by adding a projection to the end of a ring or changing the length of a ring. The results of the analyses revealed that the contact stress distribution could be predicted with the suggested model. The effect of the ring shape was also presented. The effect of any combination of process parameters could be easily estimated through the related analyses.

Key Words : Pipe Connection(관 결합), Clamping Ring(구속 링), Contact Stress(접촉 응력), Ring-shape Effect(관 형상 효과), Finite Element Analysis(유한요소해석)

1. 서 론

냉장고, 공기조화기 등에서 냉매 유동을 위하여 작은 직경의 관(Pipe)이 많이 사용되고 있으며, 관의 연결을 위하여 경납땜(Brazing) 공정이 주로 활용되고 있다^[1-2]. 그러나 경납땜 공정은 화염에 의해

변형이나 재료의 손상이 발생하므로, 열에 의한 접합이 아닌, 관 사이에 개재된 구속 링(Clamping ring)에 의한 기계적인 결합 방법이 개발되고 있다^[3-7]. 이와 함께, 기계적인 관 결합 방법을 제품에 적용하기 위하여 여러 가지 요건에 관한 표준화 작업도 수행되어 있다^[8]. 그럼에도 링을 이용한 관의 기계적 결합공정에서 링의 형상, 내경 크기 등 여러 가지 공정 변수에 의해 변화되는 결합성능에 대한 연구나 링에 대한 최적형상에 대한 연구 등 공정에 대한 해석이 부족하다.

Corresponding Author : kybae@gntech.ac.kr
Tel: +82-55-751-3384, Fax: +82-55-751-3389

본 연구에서는 구속 링을 이용한 관의 결합공정을 유한요소법을 이용하여 모델링하는 방법을 제안하고, 제안된 모델을 이용하여 내부 관과 외부 관의 접촉면에서 접합응력(Contact stress)을 해석하고자 하였다. 접촉부에서의 접합응력과 접합부의 면적 그리고 마찰계수의 곱이 관의 결합력이 되므로, 접합응력은 접합력의 척도가 된다. 제안된 모델과 해석방법은 기계적 결합공정에서의 다양한 공정변수의 조합에 대한 결합 상태를 예측할 수 있게 하고, 이를 활용하여 최적인 결합 조건을 찾을 수 있다. 특히 본 연구에서는 구속 링의 형태에 따른 관 접촉면에서의 응력변화를 해석하였다.

2. 링(Ring)에 의한 관(Pipe) 결합

구속 링을 이용하여 관을 결합하는 공정은, Fig. 1(a)와 같이 내부 관에 링을 거치한 채로 내부 관을 외부 관에 삽입하고, 접착제(Adhesive liquid)를 주입한 다음(Fig. 1(b)), 공구를 이용하여 링에 힘을 가하여 밀어 넣는 과정(Fig. 1(c))으로 구성된다^[9]. 이와 같은 공정에서 링에 의해 관은 수축하고 소성변형이 발생하며 팽창하려는 힘이 발생하고, 이로 인해 링은 탄성범위에서 반경이 늘어나며 수축하려는 힘이 발생하여, 관과 힘의 평형을 이루게 된다(Fig. 1(d)). 결과적으로, 내부 관 외경과 외부관 내경에는 강한 접촉력이 작용하여, 두 개의 관은 기계적 결합을 이루게 된다.

Fig. 2는 링에 의해 결합된 실제의 관 결합 형상을 보이고 있다. 한편, 기계적 힘에 의해 체결된 금속의 접촉면은 냉매가 새어 나갈 수 있기 때문에 접착제를 추가적으로 사용하여 누설을 방지한다^[9-10]. 두 개 관의 결합에서 접착제에 의한 결합력도 작용되기는 하나, 기계적 접촉력에 비하면 미미하기 때문에, 링에 의한 접촉력은 형상을 유지시키고 접착제는 누설을 방지하는 역할로 구분할 수 있다. 따라서 본 연구에서는, 접착제에 의한 효과는 무시하고, 두 개의 관이 링에 의해 형상이 변화되고 접촉력을 확보하는 과정을 모델링하고, 이를 활용하여 변형과 응력해석을 수행하였다.

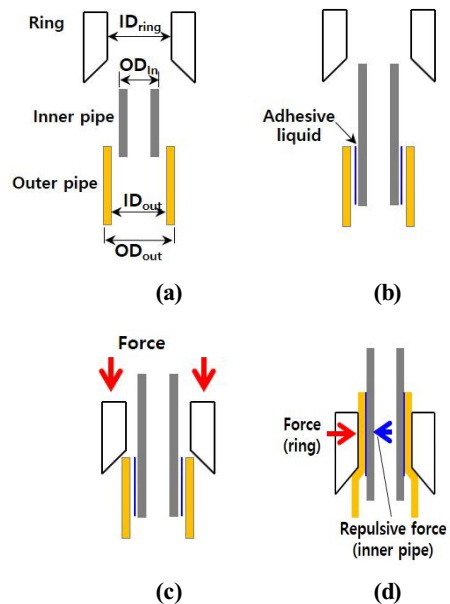


Fig. 1 Schematic drawings of pipe connection process using clamping ring



Fig. 2 Actual pipe connection by the mechanical joining process with clamping ring

3. 공정 모델링 및 응력 해석

3.1 요소분할 및 경계조건

내부 관(Inner pipe)에 거치된 구속 링(Clamping ring)을 내부 관과 외부 관(Outer pipe)의 겹침부까지 가압하여 미는 결합 공정은, 원주방향 대칭성을 고려하여, Fig. 3과 같이 축대칭 2차원 형태로

모델링할 수 있다. 링 가압 과정에서의 변형 및 응력 발생을 유한요소법으로써 해석하고자, 관과 링은 길이가 0.1 mm인 사각형 요소로 분할하였다. 모델에서 내부 관의 길이는 25 mm, 외부 관의 길이는 15 mm, 링의 길이는 9 mm이었다. 관과 링의 반경은 Table 1에 나타나 있고, 외부 관으로 링의 진입을 용이하게 하기 위하여 링의 하단 내부는 4 mm에 걸쳐 8°의 테이퍼를 두었다. 공정을 모델링하기 위한 경계조건으로, 내부 관 및 외부 관의 축방향 하단에는 변위를 구속하였고, 링 가압 과정으로, 링은 상단에서 변위를 1 mm씩 증가시켜 총 14 mm를 이동시켰다.

3.2 재료물성 및 공정변수

관과 링의 기계적인 성질은 Table 2에 보이고 있다. 내부 관과 외부 관은 연강재이고, 링은 경강의 재질로 제작하였다.

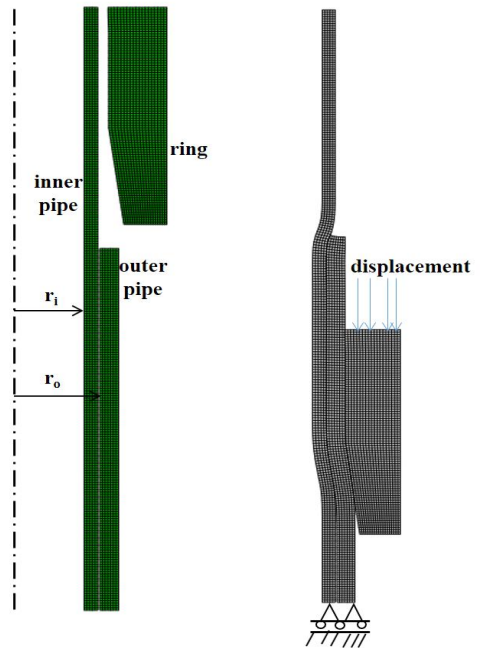
본 연구에서는 특히 링의 길이 변화와 형태 변화에 따른 효과를 파악하기 위하여, 링 길이를 각각 9 mm(Normal)와 6 mm(Shortened)로 변화하여 해석하였고, 또 9 mm 길이의 링 상단 내부에 0.3 mm 길이에 걸쳐 0.025 mm의 돌기(Projection)를 두어 이의 효과를 해석하고, 돌기가 없는 경우와 비교하고자 하였다. 제안된 모델을 이용한 해석을 위해 상용프로그램인 ABAQUS를 활용하였다^[11].

Table 1 Inner and outer radii of pipes and ring

| Parts | r_i [mm] | r_o [mm] |
|---------------|------------|------------|
| Inner pipe | 1.600 | 2.100 |
| Outer pipe | 2.175 | 2.875 |
| Clamping ring | 2.485 | 4.660 |

Table 2 Materials properties for stress analysis

| Parts | Ring | Pipe |
|-----------------|----------------|------------|
| Materials | Hardened steel | Mild steel |
| Yield stress | 638Mpa | 200Mpa |
| Tensile stress | 705Mpa | 400Mpa |
| Elongation | 0.06 | 0.3 |
| Elastic modulus | 210Gpa | 210Gpa |
| Poisson's ratio | 0.3 | 0.3 |



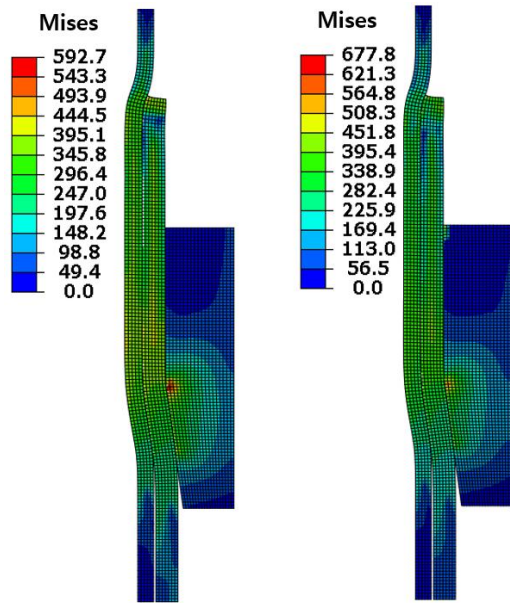
(a) FEM model (b) boundary conditions
Fig. 3 Finite element model and boundary conditions of pipe connection process with clamping ring

4. 해석결과 및 고찰

4.1 링의 끝단 돌기

내부와 외부 관을 구속 링으로써 기계적인 결합을 하는 공정을 모델링하고 해석한 결과를 Fig. 4(a)에서 보여 주고 있다. 특히 링에 의해 결합된 상태에서의 관의 변형된 형상과 관 및 링에 나타나는 상당응력(Mises stress)의 분포를 파악할 수 있다.

관 결합부 결합력의 척도가 되는 내부 관과 외부 관 사이의 반경 방향 접촉응력(σ_{rr}) 분포는 Fig. 5에 나타난 바와 같다. 해석에서 얻어진 접촉응력과 표면적 그리고 접촉부의 마찰계수의 곱이 외부 하중에 대응하는 관 결합력이 된다. 결과의 우측은 등응력선도를 보이며, 내부 및 외부 관 접촉부의 특정 위치 A, B, C를 나타내고 있다.



(a)without projection (b)with projection

Fig. 4 Deformed shapes and stress contours of pipes and ring by the pipe connection process with clamping ring

결과에 의하면, A 위치에서 약 200 Mpa의 압축 응력을 나타내고 있고, 다음으로 B 위치에서 약 160 Mpa의 응력 크기를 보이고 있다. 그러나 링의 상단부 근처의 접촉부에서는 미미한 크기의 응력이 나타나고 있다.

한편, 링의 상단 끝에 형성된 돌기에 의해서는 Fig. 4(b) 그리고 Fig. 5에서와 보인 바와 같이 관의 형상 변화와 접촉 응력의 변화에 큰 효과를 야기하지는 않음을 알 수 있다.

내부 관과 외부 관 사이 접촉부에 나타나는 상당응력(Mises stress)의 분포를 Fig. 6에 나타내었다. 최대 상당응력은 D 위치에서 약 380 Mpa의 크기를 보이고 있고, 링의 돌기 여부에 따라서는 대부분의 접촉부에서 큰 차이가 나타나지 않으나 C 위치 밖에서는 다소 차이를 보이고 있다.

한편, 내부 관과 외부 관 사이의 변형 형상 및 응력 분포 등에서 크게 차이가 없었으나, Fig. 7(a)에서 보여 주는 바와 같이, 외부 관과 링 사이에 돌기가 없으면 링의 상단부 내부와 외부 관 사이

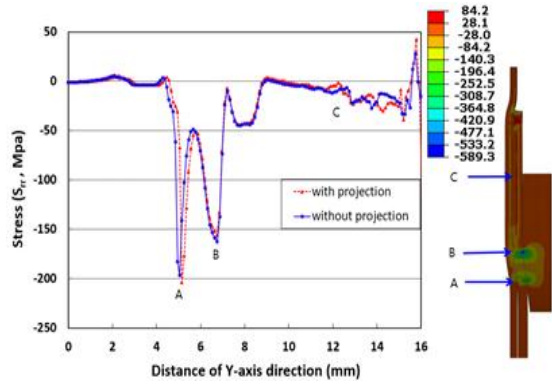


Fig. 5 Contact stress distribution at the contact area along the distance of Y-axis direction and the stress contours in the solution domain

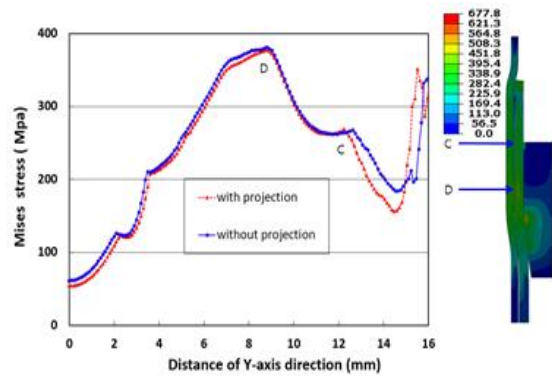


Fig. 6 Equivalent stress distribution at the contact area along the distance of Y-axis direction and the stress contours in the sloution domain

에는 틈새(Gap)가 발생하게 됨을 알 수 있다. 링의 상단부 내측에 돌기를 부여하면, Fig. 7(b)의 결과에서와 같이, 링과 외부 관 사이에 틈새가 발생하는 것을 막아주는 효과가 있음을 알 수 있다. 이음부의 틈새는 부식에 취약하므로, 돌기를 부여하는 것이 이와 같은 용도에 적합할 수 있다.

4.2 링의 길이 변화

내부 및 외부 관을 구속하는 링의 길이를 변화하여 해석한 결과를 Fig. 8에서 보여 주고 있다. Fig. 8(a)는 링의 길이가 9 mm일 때의 해석 결과

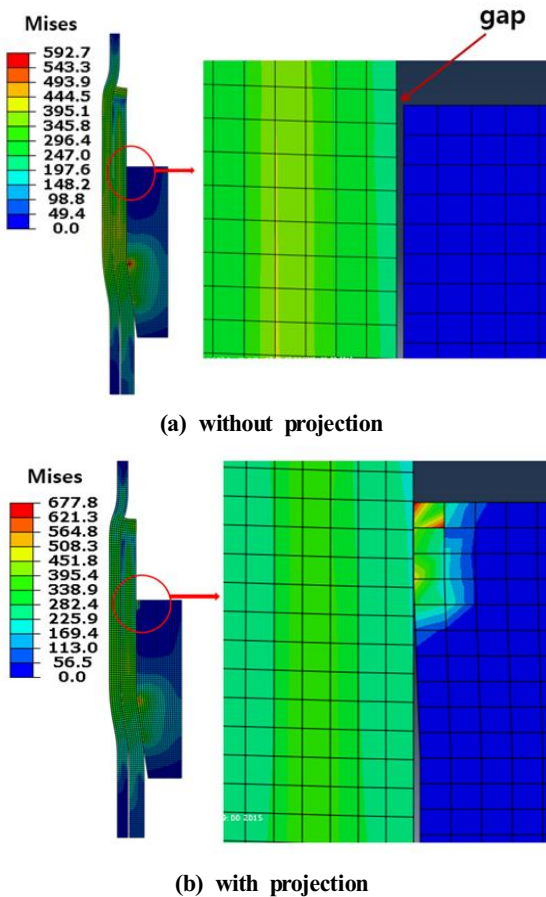


Fig. 7 Deformed shape of pipes and ring in the pipe connection process with clamping ring and enlarged view between outer pipe and ring

이고, Fig. 8(b)는 길이가 6 mm일 때의 결과로, 공정에 의한 관과 링의 변형 형상 변화 그리고 상당 응력 분포를 파악하고 비교할 수 있다. 결과에 의하면, 링의 길이 변화에도 불구하고 링 내부의 응력 분포를 제외하고는, 관의 형상 변화 그리고 관 내부의 상당응력 분포 등에서 큰 차이가 나타나고 있지 않음을 알 수 있다.

내부와 외부 관 접촉면에서의 접촉응력은 Fig. 9와 같은 분포를 나타내었다. 응력의 크기가 크지 않은 C 위치 바깥을 제외하고는, 관의 길이 변화에도 유사한 응력 크기를 보이고 있다.

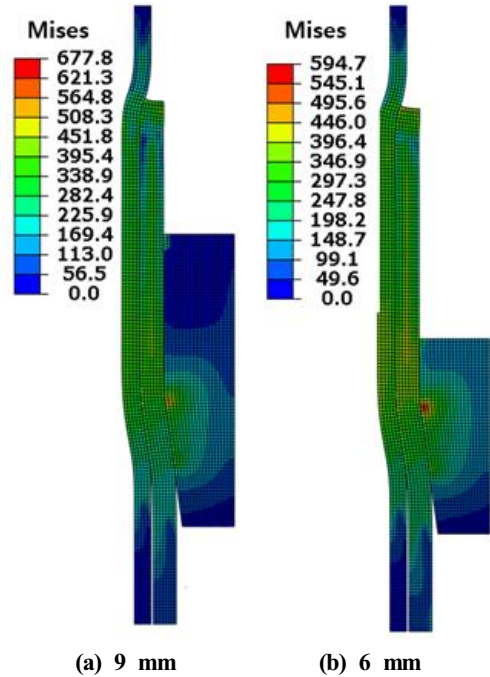


Fig. 8 Deformed shapes and stress contours of pipes and ring by the pipe connection process with different lengths of clamping ring

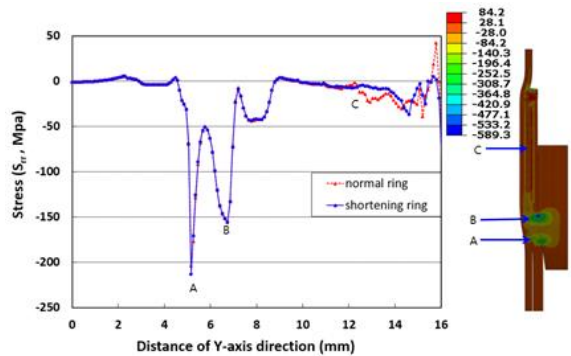


Fig. 9 Contact stress distribution at the contact area along the distance of Y-axis direction with different lengths of clamping ring and the stress contours in the solution domain

Fig. 10은 링의 길이를 달리하여 해석한 결과에서 특히 접촉부의 상당응력을 나타내고 있다. 응력 분포에 따르면, C 위치 바깥의 접촉부 상단에서는

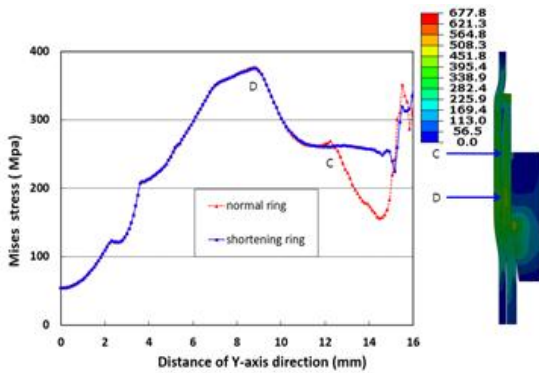


Fig. 10 Equivalent stress distribution at the contact area along the distance of Y-axis direction with different lengths of clamping ring and the stress contours in the sloution domain

다소 차이를 보이고 있으나, 결합력에는 영향을 미치지 않을 정도의 크기로 판단할 수 있다. 따라서 구속 링의 길이 변화는 결합력의 향상에 영향을 미치지 않는 것으로 판단할 수 있고, 다만 결합 작업을 효과적으로 수행하기 위한 효율성의 관점에서만 고려할 수 있다.

5. 결 론

냉매의 유동 등에 사용되는 작은 직경의 두 관을 구속 링을 적용하여 기계적으로 체결하는 관 결합 공정을 수치해석적으로 모델링하고 이를 활용한 변형 및 응력 해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 구속 링의 변위 이동 경계조건을 활용함으로써, 구속 링에 의한 관 결합 공정을 모델화하고 해석하는 것이 가능하였다.
2. 구속 링에 의한 결합으로, 내부와 외부 관 사이에 최대 200 Mpa 정도의 접촉 응력과 최대 380 Mpa 크기의 상당응력이 발생하였다.
3. 링의 상단 내부에 부여한 돌기는 관의 형상과 응력 분포에는 영향을 가하지 않았으나, 상단부와 외부 관 사이의 틈새 발생을 방지하는 역할을 할 수 있었다.

4. 관 결합 공정에서 링의 길이 변화와 관의 형상과 응력분포는 큰 상관관계가 나타나지 않았다.
5. 제안된 해석 모델을 활용하면, 관 결합 공정의 다양한 입력 변수의 조합에 따른 결합 결과를 용이하게 예측할 수 있다.

후 기

“이 논문은 2015년도 전남대학교 연구년 교수 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Shin, S. M., "A Study on the Advanced Performance of Al-brass Pipe Brazing Process According to the Improvement of Coupling", A Thesis for a Master, Gyeongsang National University, Republic of Korea, 2016.
2. Kim, J. H., Yoon, J. H. and Kim, M. J., "Manufacture Method Of Heat Pipe Using Brazing Process and Heat Pipe", Kitech, Korean Patent 1008883630000, 2009.
3. Schwalm, D., "Pipe Connection Having Improved Strength", Vulkan Lokring R. Gmbh & Co. KG, US Patent 7654588 B2, 2010.
4. Atsushi, I., "Method of Manufacturing a Lock Ring for a Pipe Joint", Korean Patent 101142573, 2012.
5. Connolly, C., "Rings and Springs", Assembly Automation, Vol. 28, No. 4, pp. 295-300, 2008.
6. Kim, T. G., Kim, T. H., Park, J. H. and Park, Y. C., "Selection and Verification of Press Forming Pipe Model using Pipefitting", J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 14, No. 1, pp. 43-49, 2015.
7. Lee, D. Y., Cho, S. H., Jung, J. H., Kim, M. J. and Kim, J. M., "Technology of Quick Connector for Pipe Joint inside Automobile", Proceeding of the 2015 Korean Soc. Manuf. Process Eng. Spring Conference, pp. 192-192, 2015.

8. Biersteker, M., Dietemann, C., Suresh, S. and Haupt, R. W., "Qualification of non-standard piping product form for ASME code for pressure piping, B31 applications", The American Society of Mechanical Engineers, Vol. 210-1, Codes and Standards and Applications for Design and Analysis of Pressure Vessel and Piping Components, pp. 127-134, 1991.
9. "Refrigeration and Air Conditioning: Solder-free Tube Connections for the Installation and Servicing", Vulkan Lokring Roh. GmbH & Co. KG, Herne, Germany, 2009.
10. Kang, H. J., "Adhesives for Engine", Chemical Education, pp. 5-8, Spring 2011.
11. ABAQUS, ABAQUS User's Manual Version 6.7-2, Hibbit, Karlsson and Soerensen, Pawtucket, RI, USA, 2007.