

## 2. $k-\epsilon-\tau$ 亂流모델을 利用한 엔진 실린더내 流動에 관한 數值的 研究

기관공학과 임재문  
지도교수 최재성

본 연구는 동적인, 맥시멈 피스톤, 정전다 피스톤 위치의 3 런 속도로부터 맥시 흡입면 근처의 빠른 속도 범위, 유동 구조가 불명형으로 되는 높은 변형률 유동 등이 포함되어 수치 해석을 실행한 이리움의 따라서, 엔진 실린더 내 유동 해석에 있어서, 좀더 개선된 결과를 나타낼 것으로 판단되는  $k-\epsilon-\tau$  난류 모델을 엔진 실린더 내 유동 해석에 적용하여 그 타당성을 검토하고, 개선된 계산 격자수 내에서 좀더 정확한 결과를 얻을 수 있는 다차원 수치해석 방법을 제시한다. 본 관에서 다음과 같이 2, 3, 4, 5장으로 나누어 연구를 수행하였다.

2장에서는 엔진 실린더 내 유동에 대한 다차원 수치해석에 필요한 이론적 모델에 대해 기술하였다. 엔진 실린더 내 피스톤을 통계적 평균에 의해 적절히 표현할 수 있다는 가정에 의해 평균값들을 얻었던 앙블라(ensemble averaged) 과정을 각각 일반형 진단법 공식으로 표현하고, 이를 변형식을 정전다 내 공간에서 피스톤의 움직임에 따라 수정 생성하고, 최종적으로 변형하였다. 난류 모델은 피스톤의 압축 및 팽창에 수반되는 압축상 효과를 고려한 수정  $k-\epsilon$  난류 모델에 대해 기술한 후, 엔진 실린더 내의 3차원 유동 구조가 불명형으로 되는 높은 변형률 유동에 대한 수정  $k-\epsilon$  난류 모델 적용의 문제점을 지적하고, 이러한 문제 해결을 위해 조영환 지전스케임을 분리하고, 지전스케임 방정식에 동평질 난류값과, 변형이 개입된 후의 동평질 난류값의 보정, 여러 종류의 변형에 대한 영향을 반영하는 항들을 포함시킨  $k-\epsilon-\tau$  난류 모델을 도입하였다.

3장에서는 본 연구에 적용한 수치 해석 방법에 대해 기술하였다. 먼저 제어체적은 정의하고 연립분 선대의 적분방정식을 대용 선의 체적 및 시간 증가에 대해 적용함으로써 치분화 식기는 유선체적법을 적용하여 유한 차분 형태의 대수방정식으로 치분화하였다. 해의 수치적 안정성 검토를 위해 차 Peclet 수에 대해서는, 중앙 치분 방식이고, 고 Peclet 수에 대해서는, 상류 치분 방식으로 해를 하이브리드 방식을 채택하였다. 평동형 입력장이 균일 입력장과 같이 인식되는 것은 방지하고, 두 변형된 격자점들 사이의 압력 차이가 이들 격자점 차이에 놓여있는 속도 정분의 격인 스러움 수질력이 되도록 잇달린 격자계(staggered grid)를 사용하였다. 속도와 입력의 단점 문제 격자수 1회의 예측단계(predictor step)와 2회의 수정단계(corrector step)를 거치, 이때 얻어진 해가 완전히 수렴된 상태가 아니지만 불완전 수렴에 의한 오차가 다음 시간 단계로 전행하면서 미약해져 있고 계속 감소해도록 함으로써 안정성을 유지하도록 하는 PISO 알고리즘을 이용하였다.

4장에서는  $k-\epsilon-\tau$  난류 모델을 엔진 실린더 내 유동 계산에 적용하고 그 결과를 분석하였다. 엔진 실린더 내의 유동에 대한 다차원 수치 해석은 완성된 격자수, 완전자속, 불완전 난류 모델 등을 적용하므로, 신뢰할 수 있는 정현 결과와의 비교를 통한 검증은 필수적이다. 따라서 계산 결과는 Ahmadi-Berri의 실험 결과와 비교함으로써 본 연구에서 사용한 수치해법과 난류 모델의 타당성을 검증하였다. 또한 수정  $k-\epsilon$  난류 모델에 의한 계산 결과와의 비교를 통해, 엔진 실린더 내 유동 해석에  $k-\epsilon-\tau$  난류 모델 적용의 적절성을 제시하였다. 스칼라 및 속도 장의 선

한다. 내 유동 개선에도  $k-\epsilon-\tau$  난류 모델을 적용하고, 개선 결과를 Arcoumanis의 실험 결과와 비교하여 난류성을 검증한 후, 스원수 0.6, 1.2, 2.4인 경우에 대하여 스원이 실험대 내 유동에 미치는 영향에 대해 고찰하였다. 또한 맨브 지르가이 60, 45, 30 인 경우에 실험대 내 유동에 미치는 영향에 대하여도 고찰하였다.

5장에서  $k-\epsilon-\tau$  난류 모델을 적용하여 얻은 실험대 내 유동 해석을 좀 더 정확히 해석하고자 하는 본 연구의 종합적인 결론을 기술하였으며 그 내용은 다음과 같다.

1)  $k-\epsilon-\tau$  난류 모델을 적용하여 실험대 헤드로부터 15mm 떨어진 단면에서의 흡기 및 압축 과정 중의 실험대 축방향 평균 속도에 대한 계산 결과는 Ahmadi-Betruji et al.의 실험 결과와 잘 일치하였으며, 수정  $k-\epsilon$  난류 모델에 의한 계산 결과보다 실험값에 근접하는 결과를 나타내었다. 난류 강도의 유동 형태 역시  $k-\epsilon-\tau$  난류 모델에 의한 계산 결과가 수정  $k-\epsilon$  난류 모델에 의한 계산 결과보다 실험값과 잘 비슷하였으며, 질량적으로도 최대치를 나타내는 영역은 제외하고는 실험값과 전반적으로 잘 예추하였다.

또한 실험대 헤드로부터 15mm, 실험대 중심으로부터 25mm 떨어진 지점에서의 축방향 평균 속도의 시간분포는  $k-\epsilon-\tau$  난류 모델에 의한 계산 결과가 수정  $k-\epsilon$  난류 모델에 의한 계산 결과보다 흡기 과정 초반에 약간 개선된 결과를 나타내었고, 난류강도의 시간분포는  $k-\epsilon-\tau$  난류 모델에 의한 계산 결과가 수정  $k-\epsilon$  난류 모델에 의한 계산 결과보다 실험값에 접근하는 결과를 얻었다.

2) 흡기 과정 중 시계방향으로 진회하는 큰 와류의 중심에  $k-\epsilon-\tau$  난류 모델을 적용한 경우가 수정  $k-\epsilon$  난류 모델을 적용한 경우에 비해 실험대 벽 및 피스톤 및 방향으로 이동하는 결과를 보였다.

압축 과정 종료 후 질지점에 도달했을 때 난류강도의 최대값의 위치는 수정  $k-\epsilon$  난류 모델의 경우에 비해 피스톤 면쪽으로 약간 접근하고 있었다.  $k-\epsilon-\tau$  난류 모델의 경우에는 실험대 헤드와 피스톤면 사이에 최대값 영역이 형성되는 결과를 나타내었다.

또한 기존의 연구에 비해 조밀한 격자를 사용하여 계산한 결과, 다 연구에서는 명확히 확인되지 않았던 흡기 과정 말기에 피스톤면과 실험대벽 사이에 만지게 방향의 와류가 새롭게 형성되는 결과를 얻었다.

3) 스원 강도의 변화는 실험대 유동장 형상을 크게 변화시키지는 않는다. 스원 강도가 커짐에 따라 큰 와류의 중심이 조금씩 실험대 벽쪽으로 이동하고 맨브 하단부에 만지게 방향의 와류가 점점 강하게 형성되는 현상이 뚜렷하였다.

또한 스원 강도의 증가에 따라 흡기 과정 중에는 난류 강도가 전반적으로 증가하는 경향을 보였으나 압축 과정 중에는 스원수 1.2인 경우가 난류 강도가 가장 크게 나타나는 경향을 보여, 스원의 증가가 난류 강도를 계속적으로 증가시키는 것은 아님을 확인하였다.

4) 맨브 지르가이 30 로 지어진 경우에는 45, 60 의 경우와함께 달리 세트의 바깥쪽이 실험대 헤드로부터 분리되지 않는 다른 형태의 유동 구조가 나타나 실험대 헤드와 벽사이의 와류는 거의 감소하거나 이에 사라지는 형태를 보임을 확인하였다.